

# 海洋石油708船深水离线电池分配系统的研制与应用

邓都都<sup>1,2</sup>, 阮海龙<sup>1</sup>, 陈云龙<sup>1</sup>, 刘智健<sup>1</sup>, 汪成龙<sup>1</sup>

(1. 北京探矿工程研究所, 北京 100083; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083)

**摘要:** 针对海洋石油708船在深远海勘察作业时,海底钳因电能不足被频繁提至甲板更换电池的问题,研制了一套深水离线电池分配管理系统。该系统主要由控制舱、深水电池组、水密电缆等组成,能够在海底独立实现4个深水电池的自动切换功能。控制舱采用高强度铝合金制成,系统耐压 $\leq 30$  MPa;采用三菱PLC作为核心控制器,完成了控制程序的编写。通过室内实验,验证了控制功能,能够稳定实现电池的切换与电能输出。在我国南海某海域1800 m水深处进行了现场应用,成功将海底钳的水下作业时间由3天提升至不低于10天,极大地延长了其在海底的工作时间,为海洋石油708船节约了宝贵作业时间,圆满辅助该船完成了勘察作业任务。

**关键词:** 电池分配管理;深海勘察;海底钳;自动控制;海洋石油708船

**中图分类号:** TE951;P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2024)02-0078-07

## Development and application of deepwater off-line battery distribution system for the ship HYSY 708

DENG Dudu<sup>1,2</sup>, RUAN Hailong<sup>1</sup>, CHEN Yunlong<sup>1</sup>, LIU Zhijian<sup>1</sup>, WANG Chenglong<sup>1</sup>

(1. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China;

2. China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of the subsea template was frequently lifted to the deck to replace the battery due to insufficient battery capacity, during the deep-sea exploration of the ship HYSY 708, a 3000m off-line battery distribution manager was designed and manufactured. The system is mainly composed of control cabin, deep-water battery pack, watertight cable, etc., which can independent complete the power management and output of 4 deep-water battery packs. Made of high-strength aluminum alloy, the system can withstand pressure not less than 30MPa, Using PLC as the core controller, the control program is written. Through laboratory experiments, the control function is verified, and the switch of battery pack can be realized stably. In May 2023, the field application was carried out in the depth of 1800m in a certain sea area of the South China Sea, and the underwater operation time of the subsea template was successfully increased from about 3 days to more than 10 days, greatly extending its working time in the seabed, saving valuable working time for the ship HYSY 708, and successfully assisting the ship to complete the survey task.

**Key words:** battery management; deep sea survey; subsea template; automatic control; the ship HYSY 708

## 0 引言

海底钳是一种在海底井口实现钻杆夹紧与松

开的装置,能够有效地减小钻杆多方位运动,在深海钻探取样以及工程勘察中起到稳定钻杆的作用,

收稿日期:2023-09-27; 修回日期:2023-12-04 DOI:10.12143/j.ztgc.2024.02.011

基金项目:国家重点研发计划“深海无隔水管泥浆回收循环钻进技术装备研发”(编号:2021YFC2801500、2021YFC2800804);中国地质调查局地质调查项目(编号:DD20221722)

第一作者:邓都都,男,汉族,1989年生,工程师,博士研究生在读,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1号(102446),duducugb@163.com。

通信作者:阮海龙,男,汉族,1984年生,正高级工程师,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1号(102446),rhailong@mail.cgs.gov.cn。

引用格式:邓都都,阮海龙,陈云龙,等.海洋石油708船深水离线电池分配系统的研制与应用[J].钻探工程,2024,51(2):78-84.

DENG Dudu, RUAN Hailong, CHEN Yunlong, et al. Development and application of deepwater off-line battery distribution system for the ship HYSY 708[J]. Drilling Engineering, 2024,51(2):78-84.

是海洋勘察作业必备的装备之一,国内外对其结构以及工作原理做了大量的研究工作<sup>[1-6]</sup>。海洋石油708船在建船之初配备了一套3000 m级的有缆海底钳,采用脐带缆供电的方式,供电电压3300V AC,使用过程中发现存在故障频出,维护成本高,操作不便捷,漏电风险高等问题,后由北京探矿工程研究所根据海洋石油708船钻井系统结构尺寸与作业能力,于2018年成功研制了一套3000 m级的无缆海底钳<sup>[7]</sup>。采用水下电池供电的方式,通过水声通信系统<sup>[8-9]</sup>来完成控制与数据传输。无缆海底基盘不需要高压输变电系统,具有结构简单,操作便捷,维护成本低等特点。近几年,该装备一直在海洋石油708船开展技术服务工作,累计服务时间超过700天,取得了良好的应用效果。然而,随着708船勘察作业向深远海迈进<sup>[10]</sup>,要求海底钳的单次水下作业时间越来越长,但电池的容量却不能满足长时间的水下作业需求。目前,该船只能通过暂停作业后将海底钳提至甲板,由人工更换电池后再下放到海底继续作业。由于海底钳需要在数千米的海底工作,通过绞车完成收放,往往需要十几个小时,来回更换电池也会耽误大量的作业时间。海洋勘察作业时间成本异常昂贵,海上安全钻井作业窗口期宝贵,该方式不仅不利于海上钻井安全,而且会浪费宝贵的作业时间。

深水电池与常规陆地上使用的电池组结构完全不同,因为要考虑深海高腐蚀、高压力的作业条件,电池需要加装厚重的防腐金属外壳与电池管理系统<sup>[11-13]</sup>。如果单纯考虑增加单个电池内部电芯的数量来提高电池的容量,会使得电池舱的体积明显增加,整个电池会变得异常沉重,目前正在使用的电池重达120 kg,在甲板面搬运已经达到了工人的工作极限;而且电芯数量增加会导致内部管理系统更加复杂,电池安全性能也将受到严峻挑战。如果考虑直接将多个电池同时并联使用,电池会因为电压不同而相互之间充放电,增加电池的损耗;而且多组电池直接并联在水下使用,在电路上也存在很大风险。目前,海底钳一共配备了3个深水电池(1用2备),单次水下最长作业时间3天;在深远海作业时,海底钳往往需要工作8~10天,有时候甚至更长。如何充分将船上现有的电池利用起来,在海底实现电池的自动切换,保证其始终有1个电池处于工作状态,成为解决这一难题最简单有效的办法。

针对上述问题,研制了一套基于PLC的深水离线式电池分配系统,其目的是将多个深水电池利用起来,均连接到一个独立的分配器上,由它来负责同时管理多个电池的电能输出,保证海底钳在作业时都会有深水电池正常工作。该系统具有如下优点:(1)设计有独立的逻辑控制系统,每个电池都是独立工作,与海底钳自身控制系统无任何关联,不会影响其稳定性,安全可靠;(2)具有应急处理功能,在系统漏水或者其他紧急情况时,能够切断电池组,保证系统安全。本系统能够最多同时实现4个深水电池的管理,这样极大地延长海底钳水下作业的时间,既满足了海洋石油708船深远海的勘察作业需求,又能够将现有深水电池都利用起来,为该船节约了大量的成本。

## 1 离线式电池分配系统结构

### 1.1 系统组成

深水离线式电池分配系统主要由控制舱、深水电池、水密电缆等组成,根据实际使用工况与作业需求,本系统设计最大管理水下电池的数量为4个。单个电池容量40 Ah,输出电压220V DC,设计工作水深3000 m。将4组深水电池通过水密电缆连接到分配器控制舱上,由PLC进行集中统一管理后进行电能的输出,其系统结构如图1所示。

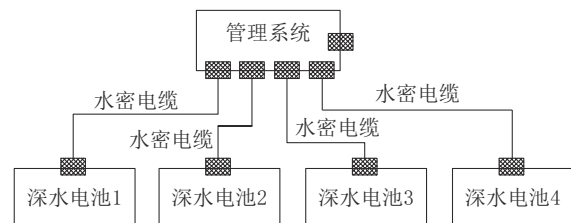


图1 离线式电池分配系统结构

Fig.1 The structure of off-line battery distribution system

电池分配系统安装在一个特制的控制舱内,主要作用是完成海底钳电能分配与输出。其主要结构如图2所示。其端盖安装有能够在深水条件下传输电能的水密接插件,内部主要由三菱FX PLC控制器、电源模块、测压模块、继电器组、单向二极管组、漏水保护器等组成。其电源模块实现电能转换,为控制系统供电;测压模块能够监测每组电池的实时电压,并将采集到的数据通过端口传输给控制器;单向二极管组安装在电池组正极的前端,防

止电池组之间因为电压不平衡而互相干扰;漏水保护器会时刻检测控制舱是否进水,并将收集到的信息反馈给控制器。

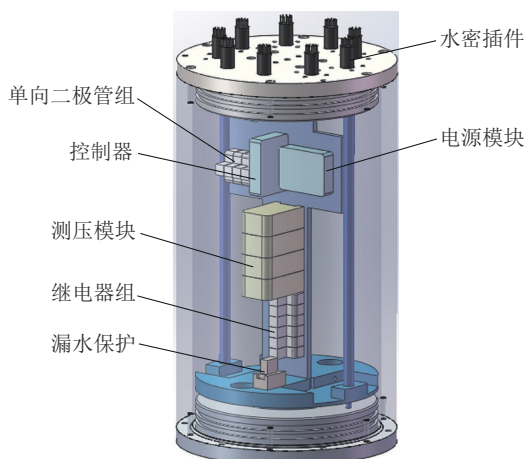


图2 控制舱主要系统组成

Fig.2 The main system composition of Control module

## 1.2 工作流程

本系统采用顺序控制的工作流程,各个电池依次接入到系统中,独立进行电能输出。选择这种工作方式主要有操作简便、系统结构稳定的特点。当电池接入到分配器时,控制系统就会通电并开始工

作。首先控制器会进行漏水检测,如果出现漏水,系统会停止工作,并发出漏水报警;如果系统正常,则开始同时监测各组电池的电压,并将第一组电池接入到系统中进行电能输入,当第一组电池电压低于185 V时,启动电池组切换,接入第二组电池;当第二组电池工作电压低于175 V(水下电机正常工作的电压下限值)时,启动电池组切换;如此依次完成第三组与第四组电池的接入。每个电池接入系统后,控制系统会主动将其他电池都断开,保证系统有且仅有1个电池组在工作。本系统设置第一组电池为备用电池,它的切换电压要比其他几个电池组都高,当其他电池组均放电完毕后,系统会接入第一组电池,以备海底钳在应急情况下使用。电池分配器完整的工作流程见图3。

## 2 离线式电池分配系统设计

### 2.1 控制舱设计

为满足深海作业条件,控制舱采用7075高强度铝合金制成,该材料具有较高的强度与良好的耐腐蚀性能,设计最高耐压为30 MPa。控制舱采用圆筒结构设计,分为舱体、上端盖、下端盖3部分,其中上下端盖设计多层O形密封圈结构,来保证系统具有良好的密封性能。采用solidworks三维绘图软件完

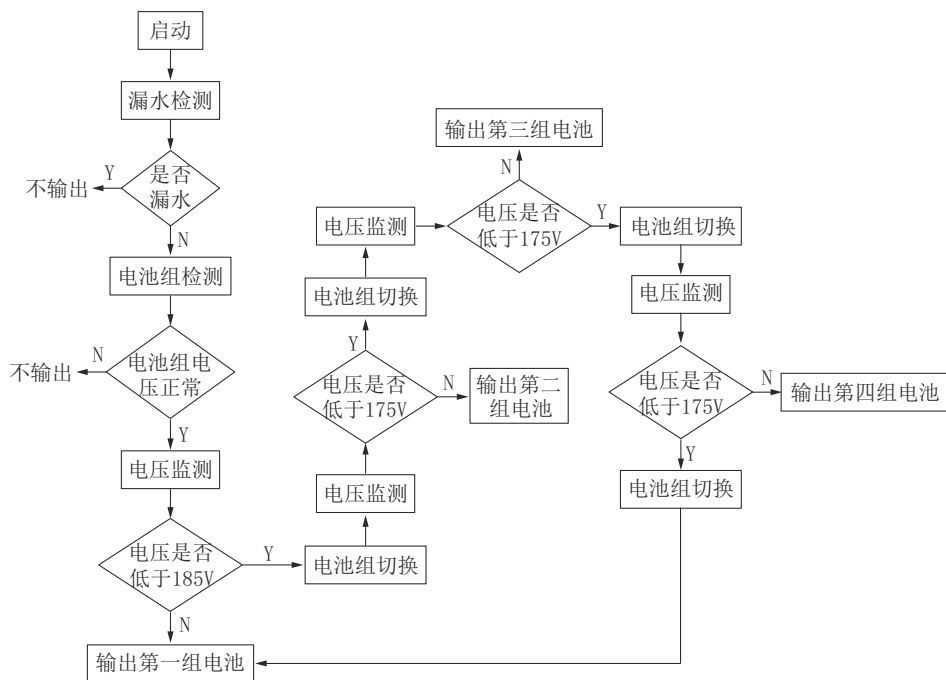


图3 电池分配器工作流程

Fig.3 The workflow of Battery distributor

成控制舱结构设计并进行强度分析。采用自由网格划分技术,设置网格尺寸为 10 mm,网格类型为实体网格,并对部件接触位置进行网格局部加密处理,共划分 80706 个网格,其网格划分情况如图 4 所示。设定边界约束条件为下端盖固定,在舱体与上端盖外部施加 30 MPa 的静载荷,来模拟控制舱在深海的工作环境,有限元分析结果如图 5 所示。产生的最大应力为 221.6 MPa,出现在上端盖与舱体接触处。控制舱选用材料的屈服强度为 505 MPa,分析得出的最大应力远小于材料屈服强度,该舱体在不超过 3000 m 水深作业时不会发生强度失效。

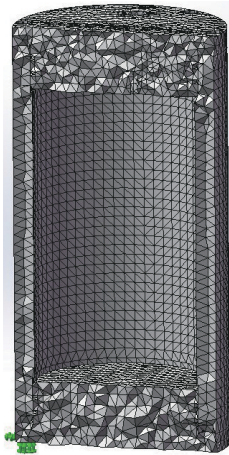


图 4 控制舱网格划分

Fig.4 Grid division of control cabin

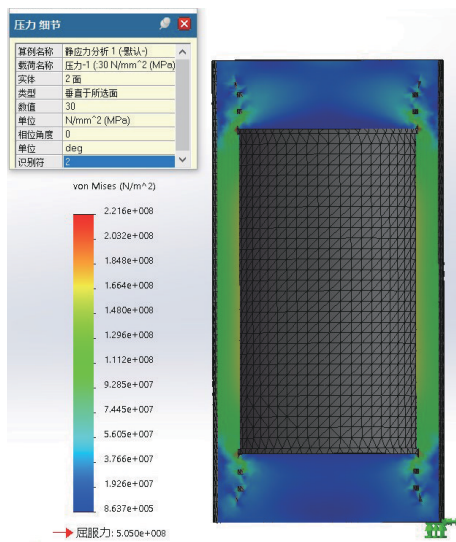


图 5 控制舱应力云图

Fig.5 Stress cloud map of control cabin

### 2.2 电路系统设计

为保证能够实时准确测量电池电压,本系统配备有 4 组独立的高精度直流电压变送器,测量范围 0~300 V,精度 0.1 V,输出 4~20 mA。该变送器安装在电池组输入端,当电池插入系统就可以开始工作,将采集到的电压数据实时传输给 PLC。第一组电池兼顾给控制系统供电,利用开关电源将 220 V DC 转换为 24 V DC,然后给 PLC、变送器、传感器等供电。在电池组的输出端安装有大功率的单向二极管,能够有效地防止电池组之间因为电压不平衡而互相充放电。系统还配备有漏水传感器,当检测到系统漏水时,就会及时断开电源,保证电池组的安全,系统电路结构如图 6 所示。

### 2.3 控制系统设计

采用 PLC 为中央控制器,来控制继电器组的动作,并接收传感器的信号,实现电池切换功能。本系统控制器选用三菱 FX 系列 PLC,具有多路的开关量与模拟量的输入输出功能,控制与通信功能强大<sup>[14-17]</sup>。该控制器具有 I/O 接口 16 个,其中开关量输入 8 个,开关量输出 8 个,A/I 接口 6 个、A/O 接口 2 个,232、485 通讯接口各 1 个。其中漏水信号为开关量信号,连接到控制器的开关量输入端,4 组电池的电压信号通过 A/I 接口输入到 PLC,4 个开关量输出端口分别控制 4 组继电器来实现电池的切换功能,具体 PLC 地址分配见表 1。

根据电池分配系统的工作流程和控制要求,采用顺序控制的方式来实现上述功能,采用三菱专用的编程软件 GX works2 完成 PLC 控制程序的编写。PLC 在工作状态时,会循环采集电池组电压数据,电池组电压正常就可以正常进行工作,设定电压采样频率为 1 s,每 60 s 会对采集到的 10 个电压数据进行 1 次取平均数操作,该值将作为实际电压数据输出。首先控制继电器 1 动作,让第一组电池接入系统进行工作;当第一组电池电压降低到一定值后,PLC 将会控制继电器 2 动作,让第二组电池接入系统,过 10 s 后再控制继电器 1 动作,将第一组电池断开;如此继续依次完成第三组、第四组电池的切换工作;选择这种工作方式能够保证 4 组电池独立工作,同时任何时间都能有电池处在工作状态。程序设置了自锁与互锁,防止运行过程有多个电池组接入系统而发生冲突;在多个程序段设置了急停,保证工作过程中出现漏水等紧急情况时,能够随时停

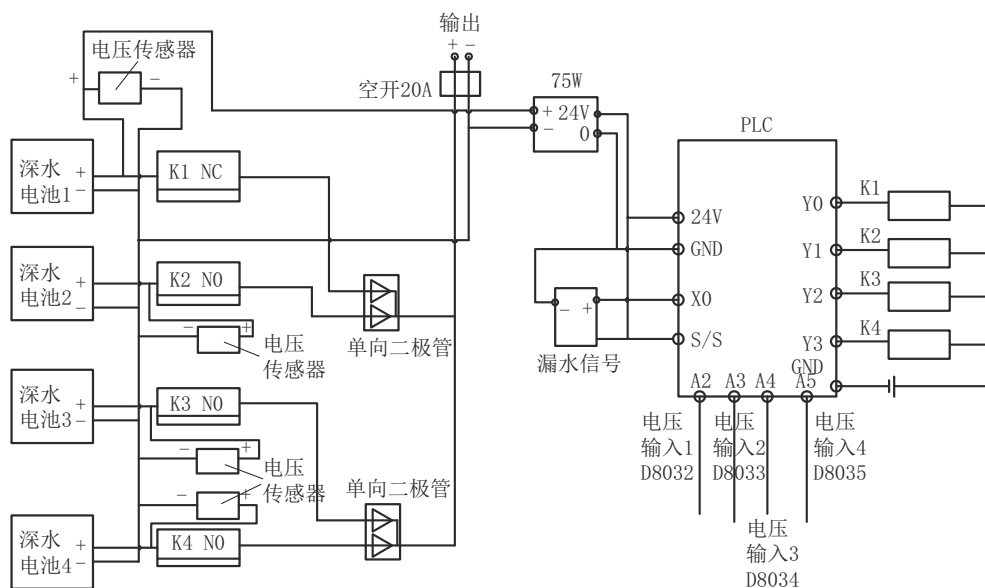


图6 系统电路

Fig.6 System circuit

表1 PLC地址分配

Table 1 PLC address assignment

输入		输出	
功能	地址	功能	地址
漏水信号	X0	继电器1	Y0
第一组电池电压	AD0	继电器2	Y1
第二组电池电压	AD1	继电器3	Y2
第三组电池电压	AD2	继电器4	Y3
第四组电池电压	AD3		

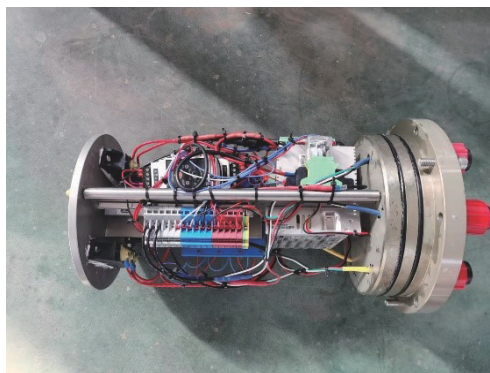


图7 控制舱结构

Fig.7 Structure of control cabin

止。该PLC一体机有232通讯口与485通讯口,方便与电脑端进行通信,完成程序的上传与下载。在通信舱还设置专用的水密通信端口,上位机可以直接通过该端口实时监测系统运行的数据。

### 3 应用测试

#### 3.1 室内测试

为验证分配器的工作能力与稳定性,在室内开展了性能测试。首先根据系统电路图完成了控制舱的硬件组装,实际结构如图7所示。选用可调式开关电源作为输入电源来模拟现场应用,输入电压0~300 V DC。将开关电源输出端通过特制的水密电缆接头连接到分配器控制舱的插座上。将万用表连接到分配器的输出端口,实时测量分配器的输出电压。将PLC与上位机连接好,完成程序的下载,并实时监测PLC在测试过程中的运行情况。

测试时,首先将4组开关电源的输出电压均设置为200 V DC,通过上位机监测发现PLC电压数据采集正常,系统工作正常。此时,继电器1动作,同时第一组电源接入系统,测量输出端电压为200 V DC;将第一组开关电源电压缓慢调低,模拟实际工作状态,发现输出端的电压也在逐步降低,当电压低于185 V时,继电器2动作,第二组开关电源接入系统,测量输出端电压为200 V DC,10 s后继电器1动作,第一组电源同时断开;重复上述步骤,完成第三组与第四组电源的接入与断开功能测试。实验结果表明,分配器的电池切换功能正常,能够实现任何时刻都会有电池在正常工作。随后开展分配器的漏水保护实验测试,将漏水绳放置到水

中,漏水传感器迅速报警,并将该信号反馈给了PLC,系统立刻断电,测试分配器输出端无电压输出。

### 3.2 现场应用

2023年5月,在我国南海某海域进行了现场应用,实际作业水深1800 m,预计水下连续作业时间6~8天。将电池分配器组装好后,固定安装在海洋石油708船海底钳上,并接入到海底钳的电路系统中,实际安装现场如图8所示。根据以往作业经验,现场带2个深水电池下海作业,将电池按照顺序连接至分配器上,在甲板测试系统电能输出正常,海底钳工作正常,显示系统工作电压215 V。下放到海底后,再次测试海底钳工作正常,表明分配器密封功能正常,无漏水情况发生。在作业3天后,通过甲板控制系统观察到海底钳的系统电压出现有一个较大变化,从185 V提升到213 V,表明第一组电池电量已经降低到了设定值,分配器动作成功,此时海底钳将由第二组电池来供能。1周后,该船完成了相应的勘察作业任务,将海底钳提升至甲板面,用万用表测量第一组电池电压剩余183 V,第二组电池电压剩余181 V,圆满完成了作业任务。



图8 电池分配器安装

Fig.8 Battery distributor installed

## 4 结语

本文利用PLC自动化控制技术,结合机械设计原理完成了深水离线式电池分配系统的设计与制造。通过结构设计,该装备能够满足不超过3000 m的深远海作业需求;通过电子电路的设计、控制程序的编写实现了PLC对4个深水电池的独立管理与电能输出;最后,通过室内实验与现场应用,验证了该分配器的控制功能,能够实现电池组的切换。

该系统将海洋石油708船上现有的电池充分利用起来,实现了多个电池在海底自动完成切换功能,完美地解决了海底钳作业时间短的技术难题,将海底钳的作业时间由3天提升至超过10天,极大地提高了该船作业效率,为海洋石油708船节约了宝贵作业时间,辅助该船完成了大量的深远海勘察作业任务。深水离线式电池分配器能够实现多个电池组的独立管理与输出,有效地延长水下用电设备的作业时间,在其他电池供电的海洋装备上也具有一定的应用前景。

### 参考文献(References):

- [1] 李欢,白兰昌,李磊,等.基于AMESim的海底基盘液压系统设计研究[J].石油机械,2019,47(11):45-51.  
LI Huan, BAI Lanchang, LI Lei, et al. Hydraulic system design of subsea template based on AMESim[J]. China Petroleum Machinery, 2019,47(11):45-51.
- [2] 陈雪娟,王璐,杨红刚,等.3000m海洋水下勘察基盘研制概要及试验[J].石油矿场机械,2018,47(5):14-19.  
CHEN Xuejuan, WANG Lu, YANG Honggang, et al. Development and application of subsea base template for underwater exploration[J]. Oil Field Equipment, 2018,47(5):14-19.
- [3] Lin Li, AmerAdham M., Zhu Xinying. Numerical analysis of an over-boarding operation for a subsea template [J]. Journal of Ocean Engineering and Science, 2021,6(2):146-159.
- [4] 王世栋,潘东阳,廖天保,等.RGB32-100海底基盘及其收放技术[J].地质装备,2020,21(4):11-15,18.  
WANG Shidong, PAN Dongyang, LIAO Tianbao, et al. RGB32-100 subsea base plate and its receiving & releasing technology [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2020, 21(4):11-15,18.
- [5] Hauge N O, Li L. Numerical study on deployment of subsea template using coupled and uncoupled model [J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, 1201: 012020.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 邢莉娟,李卓,张泽栋.水声通信中极化码的应用研究[J].电子

- 学报,2022,50(9):2096-2101.
- XING Lijuan, LI Zhuo, ZHANG Zedong. Research on the application of polar codes in underwater acoustic communication [J]. Acta Electronica Sinica, 2022,50(9):2096-2101.
- [9] 朱敏,武岩波. 水声通信技术进展[J]. 中国科学院院刊,2019,34(3):289-296.
- ZHU Min, WU Yanbo. Development of underwater acoustic communication technology [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2019,34(3):289-296.
- [10] 张海彬. 深水钻探装备技术发展现状及展望[J]. 船舶,2022,33(2):1-12.
- ZHANG Haibin. State-of-the-art and prospect of deepwater drilling units [J]. Ship & Boat, 2022,33(2):1-12.
- [11] 宋强,毛昭勇,赵满. 深海锂电池关键技术研究与发展[J]. 船电技术,2023,43(3):5-7.
- SONG Qiang, MAO Zhaoyong, ZHAO Man. Research and development of key technology of deep sea lithium battery [J]. Marine Electric & Electronic Engineering, 2023,43(3):5-7.
- [12] 赵胜,李围,赵权. 基于RS485通信的深海电池组数据监测系统设计[J]. 船电技术,2022,42(10):84-86.
- ZHAO Sheng, LI Wei, ZHAO Quan. Design of data monitoring system on lithium-ion battery based on RS485 [J]. Marine Electric & Electronic Engineering, 2022,42(10):84-86.
- [13] 何巍巍,宋德勇,杨申申,等. 深海载人潜水器电池管理系统控制策略研究[J]. 电源技术,2020,44(7):1009-1011.
- HE Weiwei, SONG Deyong, YANG Shenshen, et al. Research on battery management system control strategy of deep-sea human occupied vehicle [J]. Chinese Journal of Power Sources, 2020,44(7):1009-1011.
- [14] 澹台凡亮,田洪芳,王海楠,等. 基于PLC控制的焊接变位机构设计[J]. 热加工工艺,2022,51(13):131-136.
- TANTAI Fanliang, TIAN Hongfang, WANG Hainan, et al. Design of welding displacement mechanism based on PLC control [J]. Hot Working Technology, 2022,51(13):131-136.
- [15] 邓都都,沈立娜,刘海龙,等. 基于PLC的金刚石钻头高频焊接自动控制系统设计[J]. 制造业自动化,2022,44(11):78-81.
- DENG Dudu, SHEN Lina, LIU Hailong, et al. Design of diamond bit high frequency welding automatic control system based on PLC [J]. Manufacturing Automation, 2022,44(11):78-81.
- [16] 王晓飞. 旋转机械电动振动台的PLC自动控制器设计[J]. 制造业自动化,2021,43(12):58-61,151.
- WANG Xiaofei. Design of PLC automatic controller for electric vibrating table of rotating machinery [J]. Manufacturing Automation, 2021,43(12):58-61,151.
- [17] 任启伟,赵远,孟义泉,等. 基于Unity3D的岩心钻机模拟实训平台研究[J]. 钻探工程,2022,49(3):51-59.
- REN Qiwei, ZHAO Yuan, MENG Yiquan, et al. Research on core drill simulation training platform based on Unity3D [J]. Drilling Engineering, 2022,49(3):51-59.

(编辑 荐华)