

我国大洋钻探船的建造需求和功能设计

杨磊¹, 秦升杰¹, 景春雷¹, 李宝钢¹, 刘学勤², 刘保华¹

(1. 国家深海基地管理中心 青岛 266235; 2. 中国船舶及海洋工程设计研究所 上海 200011)

摘要:为加快我国大洋钻探船的设计和建造,填补国内该领域的空白,保障我国对深海矿产资源的勘探和开发利用,文章概述世界主要大洋钻探船的基本情况,分析我国建造大洋钻探船的必要性 and 经验基础,并提出我国大洋钻探船的功能设计。研究表明:参与国际合作项目的大洋钻探船主要包括美国“格罗玛·挑战者”号、“乔迪斯·决心”号和日本“地球”号;从开发利用深海矿产资源和深度参与国际海底事务的角度,我国对大洋钻探船的需求迫在眉睫,且我国已在深水勘察船和钻井船等的设计和建造方面积累了宝贵经验;我国大洋钻探船的功能设计主要包括船型、总体布置、推进和定位方式、钻探和岩芯采集系统以及船载实验室等方面,应参考其他相关和类似船舶,结合我国深海大洋勘探和开发利用的具体任务需求综合设计。

关键词:海洋矿产资源;钻探船;大洋勘探;深海装备;船舶工程

中图分类号:P715.3;P744 文献标志码:A 文章编号:1005-9857(2019)02-0068-05

Construction Requirements and Functional Design of China's Ocean Drilling Vessels

YANG Lei¹, QIN Shengjie¹, JING Chunlei¹, LI Baogang¹, LIU Xueqin², LIU Baohua¹

(1. National Deep Sea Center, Qingdao 266235, China;

2. Marine Design and Research Institute of China, Shanghai 200011, China)

Abstract: In order to speed up the design and construction of China's ocean drilling vessels, fill the gaps in this field, and ensure the exploration and exploitation of deep-sea mineral resources in China, this paper outlined the basic situation of major ocean drilling vessels in the world, analyzed the necessity and experience basis of China's construction of ocean drilling vessels, and put forward the functional design of China's ocean drilling vessels. The results showed that the ocean drilling vessels involved in international cooperation projects mainly include “Glomar Challenger” and “JOIDES Resolution” contributed by United States and “Chikyu” contributed by Japan. From the perspective of exploiting and utilizing deep-sea mineral resources and deeply participating in international seabed affairs, China's demand for ocean drilling vessels is imminent, and China has al-

收稿日期:2018-07-23;修订日期:2019-01-02
基金项目:高技术船舶科研项目(K24366);泰山学者工程专项经费项目(TSPD20161007).
作者简介:杨磊,博士,研究方向为深海装备研发和水下运载技术
通信作者:秦升杰,助理工程师,硕士,研究方向为结构安全性与稳定性

ready designed deep-water exploration vessels and drilling vessels. The function design of ocean drilling vessels in China mainly includes ship type, general layout, propulsion and positioning mode, drilling and core acquisition system and ship-borne laboratory, etc. It should refer to other related and similar ships, and integrate with the specific task requirements of deep-sea exploration and development and utilization in China.

Key words: Marine mineral resources, Drilling vessels, Ocean exploration, Deep-sea equipment, Ship engineering

1 国际合作项目的大洋钻探船

深海钻探计划(DSDP, 1968—1983年)、大洋钻探计划(ODP, 1985—2003年)、综合海洋钻探计划(IODP, 2003—2013年)和国际大洋钻探计划(IODP, 2013—2023年)^[1]是为探索地球海洋深部而实施的国际合作项目,已累积取得岩芯超过40万m,为板块构造理论、古海洋学和气候演变规律等^[2]科学的发展做出突出贡献。

作为海洋深部取样的唯一平台,大洋钻探船是不可或缺的装备。美国、日本和欧洲国家等研发大洋钻探船较早,技术力量雄厚,现已成功应用钻探船开展海底岩芯取样和矿产资源勘探,其中美国“格罗玛·挑战者”号、“乔迪斯·决心”号和日本“地球”号3艘大洋钻探船专门为国际合作项目服务。

1.1 “格罗玛·挑战者”号

“格罗玛·挑战者”号是1966年美国为DSDP专门新建的大洋钻探船,也是DSDP唯一的专用钻探船。该船长121 m、宽19 m,满载排水量10 500 t,是世界首艘可在水深大于6 000 m的海底实施钻探的船舶;配备动力定位系统,可在风力9级时正常作业;配置纵横摇补偿和升沉补偿系统,保证船舶的纵摇和横摇不超过9°。该船于1968—1983年共完成96个航次,在除北冰洋外的各大洋的624个站位钻井1 112口,采用无隔水管钻井方式,取得岩芯超过9.7万m,创造多项深海钻探记录。该船目前已退役。

1.2 “乔迪斯·决心”号

“乔迪斯·决心”号于1985年成为ODP的专用钻探船,现为IODP的专用钻探船,至今已服役33年。该船长143 m、宽21 m,满载排水量16 800 t,

具备操作9 150 m钻杆的能力,最大作业水深8 235 m。迄今为止,该船共完成165个航次,航程近54万n mile,在905个站位钻井2 500口。

“乔迪斯·决心”号采用倾斜式船首型式,满载水线以上的部分较瘦削;兼具自航能力和动力定位能力;采用双轴双桨电力推进的方式,同时配备10台550 kW的全回转推力器和2台550 kW的侧推装置,可在波高7.5 m、风速60 kn和流速3 kn的环境条件下定位。由于建造年代较早,该船推力器数量较多、功率较低,在船舶动力定位性能方面不具优势;艏部螺旋桨虽功率较高,但在斜向环境条件下推力缩减较多,并不能充分发挥作用。该船采用无隔水管钻井方式,无须下放防喷器组,对月池尺度的需求较小,采用直径7 m的圆形月池,月池引起的阻力增加不大(应在10%以内)。钻探和岩芯采集系统集中布置于船中后部,井架布置于船中部,钻杆主堆场布置于井架后部,散料罐布置于船中部两侧,泥浆泵和泥浆池布置于月池后部的船体内,同时配置2台泥浆泵、6个泥浆池和8个散料罐。

1.3 “地球”号

“地球”号于2007年开始执行IODP科学考察航次,是世界首艘采用隔水管的大洋钻探船。该船长210 m、宽38 m,型深16.2 m,满载排水量57 500 t,具备操作10 000 m钻杆的能力,最大作业水深2 500 m(具备升级至4 000 m的能力)^[3]。

“地球”号采用斜直式船首型式,首柱在满载水线以上的部分呈前伸形式,在满载水线以下的部分保留垂直形式;兼具自航能力和动力定位能力;采用电力推进的方式,配备6台4 200 kW的全回转推力器,分2组呈“品”字形布置,首部3台和尾部靠前

1 台采用可伸缩形式,可在波高 5.5 m、风速 58 kn 和流速 1.5 kn 的环境条件下,满足有利首向 30° 的定位要求。该船最大航速约 12 kn,采用隔水管钻井方式,须下放防喷器组,对月池尺度的需求较大,采用长 21.9 m、宽 12 m 的长方形月池,月池引起的阻力增加较大。

2 我国建造大洋钻探船的必要性和经验基础

2.1 必要性

深海矿产资源丰富,其中多金属硫化物、多金属结核和富钴结核等矿藏对人类生产和生活具有重要意义。对于国际海底区域,国际海底管理局遵循“谁有能力谁开发”的原则^[4],因此许多国家纷纷申请矿区进行勘探和开采。多金属结核和富钴结核属于二维矿藏^[5],而多金属硫化物属于分布于海底以下的三维矿藏^[6],须通过钻探取样才可确切地探明储量,而大洋钻探船是该阶段至关重要的装备。

美国先后建造“格罗玛·挑战者”号和“乔迪斯·决心”号大洋钻探船进行海底钻探取样,取得众多创新成果和重大发现,奠定其深海科学技术的世界领先地位。日本通过建造“地球”号大洋钻探船,已执行多次 IODP 任务,并培养了一大批深海科技工作者。Nautilus 公司利用 DP Hunter 钻探船对巴布亚新几内亚专属经济区的多金属硫化物矿藏进行岩芯钻探取样。澳大利亚矿业公司也租用 DP Hunter 钻探船在其新西兰专属经济区对多金属硫化物矿藏进行勘探。目前发达国家对海洋固体矿产资源的开发已从地质资源调查阶段进入勘探取样阶段,并即将进入商业化开采阶段^[7],而我国仍处于地质资源调查阶段。

我国自 1998 年开始参与 ODP,首次对南海进行大洋钻探即取得岩芯 5 460 m,并取得气候演变周期性规律等重大成果。之后我国多次参加 ODP 和 IODP 航次,取得亚洲季风变迁和南海盆地演变等多项成果,同时培养和壮大了人才队伍,在国际大洋勘探领域的影响力也逐渐提升。但目前我国不是 ODP 和 IODP 的成员,只能以“参与成员”的身份参加相关航次,得到的活动机会和研究报告较少,在国际合作中处于次要地位,其根本原因是我国没有自己的大洋钻探船和相应设备。目前我国

正大力发展深海科学技术,对大洋钻探船的需求迫在眉睫,应尽快设计建造并投入使用。

2.2 经验基础

我国自 20 世纪 70 年代开始进行海洋矿产资源勘探,由于没有大洋钻探船,主要利用科考船和潜水器,包括“大洋一号”“海洋六号”和“海洋 18 号”科考船以及“蛟龙”号载人潜水器、“海龙”号 ROV 和“潜龙”号 AUV 等。为满足海洋矿产资源勘探的需求,国内机构积极开展大洋钻探船的设计和建造,积累了宝贵的经验。

“海洋石油 708”号是中国海洋石油集团有限公司所属的深水工程勘察船,具有探测天然气水合物、大洋浊流沉积和浅层高压水等的功能,具备在 3 000 m 水深实施工程地质勘察(钻孔)和工程地质特性测试(CPT)的能力。该船总长 105 m、宽 23.4 m、型深 9.6 m,设计吃水 7.4 m,排水量 11 900 t,井架高 33 m,大钩载荷 225 t,定员 90 人,具备操作 3 200 m 钻杆的能力。该船的经济航速 13 kn,最大航速 14.5 kn,尾部配置 2 台全回转推力器,首部配置 1 台伸缩式推力器和 2 台管隧式推力器,5 台推力器共同实现动力定位,可在波高 3 m、风力 7 级和流速 2 kn 的环境条件下定位。该船采用无隔水管钻井方式,无须下放防喷器组,对月池尺度的需求较小,采用长 7.4 m、宽 7 m 的方形月池,根据经验,月池引起的阻力约 15%。钻探和岩芯采集系统布置于船中部,钻杆堆场布置于井架后部,堆场后部配置 1 台抓管机。

中国船舶工业集团公司第七〇八研究所联合国内高校和船厂,于 2010 年承担国家工业和信息化部高技术船舶科研项目,完成拥有自主知识产权的 3 000 m 水深钻井船的总体方案开发,并通过 DNV 船级社的审查。

2011 年 9 月,上海船厂船舶有限公司与华彬集团旗下的 OPUS OFFSHORE 公司签署 2+2 艘 1 500 m 水深钻井船 EPC 建造合同^[7],这是国内首个拥有自主知识产权并负责完整建造的钻井船项目,由七〇八研究所负责基本设计和详细设计,由上海船厂负责船体建造、钻井等重要设备采购和全船设备安装调试等。该项目首制船已于 2016 年交付。

3 我国大洋钻探船的功能设计

我国可参考国外大洋钻探船和其他类似船舶,结合我国深海矿区的位置、水深和环境条件等因素,合理设计大洋钻探船的船型、总体布置、推进和定位方式、钻探和岩芯采集系统以及船载实验室等,为后期建造提供指导。

3.1 船型

目前主流大洋钻探船的船型主要包括倾斜式船首和斜直式船首:①倾斜式船首型式在满载水线以上的部分较瘦削,具有纵摇运动幅度小、波浪中阻力增加少和甲板面积大的优点,但在满载水线以下切去较多,使轻载水线的长度缩短,从而降低轻载状态下的航行速度;②斜直式船首型式在满载水线以上的部分呈前伸形式,在满载水线以下的部分保留垂直形式,具有纵摇运动幅度小和甲板面积大的优点,同时还兼顾满载和轻载状态下的航行快速性。我国大洋钻探船的傅汝德数应在0.2以下,阻力成分中兴波阻力占比较小,因而可采用斜直式船首型式。

3.2 总体布置

我国大洋钻探船的总体布置主要包括钻探和岩芯采集系统、船载实验室、生活区、动力和电力系统以及动力定位系统等区域,尤其是钻探和岩芯采集系统以及船载实验室的布置,须充分考虑作业流程的需求。①钻探和岩芯采集系统集中布置于船中后部,其中井架布置于具有更好运动性能的船中部,便于实施钻探作业;②船载实验室布置于船首部的住舱与船中部的钻探和岩芯采集系统之间的区域,实验室后部与钻探和岩芯采集系统相邻,从而缩短岩芯运输的距离,便于对采集的岩芯及时开展实验研究;③生活区主要布置于主甲板和中间甲板,其中住舱布置于船首部,与船载实验室相邻,便于人员出入,且住舱的层高、面积和采光须满足《2006年海事劳工公约》的要求;④机舱布置于船尾部,远离实验室和生活区,降低噪音和排烟对实验室和生活区的影响。

3.3 推进和定位方式

建造年代较早的“乔迪斯·决心”号推力器数量较多、功率较低,而现代大洋钻探船多配置6台大

功率全回转推力器。我国大洋钻探船应兼具自航能力和动力定位能力,推进和定位系统可采用全回转推力器和管隧式推力器相结合的方式,实现无级变速航行和原地回转功能,动力定位等级为DP-2。

3.4 钻探和岩芯采集系统

目前大洋钻探船主要包括无隔水管和隔水管2种钻井方式。①“乔迪斯·决心”号采用无隔水管钻井方式,优点是无须携带大量立管和防喷装置,避免占用钻探船的甲板空间和装载量,将船舶尺度控制在较小范围,从而降低整船的建造和运行费用;缺点是钻探深度较浅,一般在1 000 m以下,低于73 m不能钻探,且在地质较厚区域钻探的风险较大。②“地球”号采用隔水管钻井方式,具备在各种水深钻探的能力,有效克服无隔水管钻井方式的缺点;但须携带大量立管和防喷装置,导致船舶尺度较大——“地球”号的排水量和运行费用分别是“乔迪斯·决心”号的3.4倍和3倍。我国南海和西南印度洋多金属硫化物矿区以及西太平洋等海域的水深在2 500 m以上,建议大洋钻探船采用无隔水管钻井方式,将排水量控制在“地球”号和“乔迪斯·决心”号之间,在不成倍提高建造和运行费用的前提下,保证能够在各海域钻探取样。同时,可研发“非立管泥浆返回系统”^[8],从而控制船舶尺度以及降低建造和运行成本。

“乔迪斯·决心”号的钻柱运动补偿系统采用传统的游车型,我国大洋钻探船可考虑采用更先进、补偿精度更高的天车型钻柱运动补偿系统(主动与被动相融合)或主动绞车补偿系统。

船体内的泥浆系统可根据钻表层钻井作业和修井作业的需求进行规划,须配置高压泥浆泵系统、低压泥浆池系统、散装泥浆和水泥系统、配浆系统以及高压固井系统等,以便在非科学考察时用于海洋石油开采的钻表层钻井、修井、堵井、弃井和完井等作业。

堆场设计可参考“乔迪斯·决心”号,分别在船首部和船尾部布置小堆场和大堆场,其中小堆场放置岩芯取芯工具等,大堆场放置钻杆和套管等,还可考虑在大堆场设置类似海洋钻井的管子输送系统。(以下内容转至第85页)

素[J].海洋地质与第四纪地质,2000,20(3):15—21.

[15] 国家海洋局第一海洋研究所.灵山湾海水浴场项目海域使用论证报告表[Z].2013.

[16] 李乃胜,于洪军,赵松龄,等.胶州湾自然环境与地质演化[M].北京:海洋出版社,2006.

[17] 赵永芳,徐方建,刘清容,等.青岛市灵山湾海水浴场表层沉积物粒度冬季变化特征及其原因[J].海洋科学,2016,40(3):108—117.

[18] 鹿徽,顾磊.金沙湾海滩安全维护系统之研究:中国海滩管理进入现代化之基础[J].社会体育学,2015,5(20):172—173.

[19] 冯若燕,余静,李鹏.我国海滩管理问题成因分析及对策建议[J].海洋开发与管理,2016,33(9):33—36.

[20] 孙静.青岛市海滩沉积地貌及质量评价[D].青岛:中国海洋大学,2012.

[21] 李占海,柯贤坤,周旅复,等.海滩旅游资源质量评比体系[J].自然资源学报,2000,15(3):229—235.

[22] WILLIAMS A T, LEATHERMAN S P, SIMMONS S L. Beach aesthetic values; the SW peninsula[R]. Coastal Con-

gress,1992.

[23] HICKST D M, HUME T M. Morphology and size of ebb tidal deltas at natural inlets on open-sea and pocket-bay coasts, North Island, New Zealand[J]. Journal of Coastal Research, 1996,12(1):47—63.

[24] 戴志军,施伟勇,陈浩.沙坝—潟湖海岸研究进展与展望[J].上海国土资源,2011,32(3):12—17.

[25] SENTHILKUMAR R, MURALI K, SUNDAR V. Stability of micro-tidal inlets along coastlines dominated by littoral drift [J]. Coast Conserve, 2017, 21: 789—801.

[26] REYES-MERLO M A, MIGUEL O S, MANUEL D M, et al. Efficient dredging strategy in a tidal inlet based on an energetic approach[J]. Ocean & Coastal Management, 2017, 146:157—169.

[27] ANH T K, SIERD V, MARCEL J F S. Beach evolution adjacent to a seasonally varying tidal inlet in central vietnam [J]. Journal of Coastal Research, 2018, 34(1):6—25.



(上接第 71 页内容)

3.5 船载实验室

船载实验室包括物理、化学和生物分析室,科学仪器间以及岩芯收集、处理和存储区等,面积约 1 200 m²。根据功能的不同,将各实验室分别布置于桥楼甲板、岩芯甲板和首楼甲板,其中物理实验室和化学实验室位于不同层甲板,钻台和岩芯位于同层甲板。船载实验室的配置和布置应充分考虑我国科学家的实验需求和习惯。

4 结语

本研究根据对国际合作项目大洋钻探船的调研,简要分析我国大洋钻探船的建造需求和功能设计,具体设计要根据任务和用户的需求等综合考虑。目前我国正大力发展深海科学技术,对大洋钻探船的需求迫在眉睫。功能齐全、设备先进和布局合理的大洋钻探船是我国深海矿产资源勘探和开发利用的重要技术支撑平台,尽快建造并投入使

用,对加快建设海洋强国具有重要意义。

参考文献

[1] 刘志飞,拓守廷.科学大洋钻探回顾与展望[J].自然杂志,2007,29(3):141—151.

[2] 拓守廷,剪知潜.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.

[3] 刘淮.“地球”号深海钻探船[J].船艇,2004(4):38—39.

[4] STERK R, STEIN J K. Seabed mineral resources; a review of current mineral resources and future developments[C]. Aberdeen; Deep Sea Mining Summit, 2015.

[5] 阳宁,陈光国.深海矿产资源开采技术的现状综述[J].矿山机械,2010(10):4—9.

[6] 景春雷,郑彦鹏,刘保华,等.海底热液多金属硫化物分布及控矿因素[J].海洋地质与第四纪地质,2013(1):57—64.

[7] 邹长斌,刘少军,戴瑜.海底多金属硫化物开发动态与前景分析[J].海洋通报,2008,27(6):101—109.

[8] MYERS G. Ultra-deepwater riserless mud circulation with dual gradient drilling[J]. Scientific Drilling, 2008(6):48—51.