

【引用格式】黄汉清. 基于玻璃仪器舱的潜标总体结构设计[J]. 数字海洋与水下攻防, 2024, 7(6): 632-638.

基于玻璃仪器舱的潜标总体结构设计

黄汉清

(中船重工纵横科技有限公司, 湖北 宜昌 443000)

摘要 潜标是水下定点长期海洋环境观测的重要设备, 玻璃仪器舱以其优良的耐压、透波、抗腐蚀等性能在潜标设计中正得到广泛应用。设计了一种基于单玻璃仪器舱的潜标总体结构, 对潜标上浮、下潜速度进行了分析, 设计了一种简易可靠的并联熔断释放器, 提出了可靠回收流程。该潜标仪器舱还可以配置不同的系留系统成为锚系潜标或坐底潜标, 以适应不同的使用目的和海洋环境, 具有一定的推广价值。

关键词 潜标; 玻璃仪器舱; 释放装置

中图分类号 TJ630.1

文献标识码 A

文章编号 2096-5753(2024)06-0632-07

DOI 10.19838/j.issn.2096-5753.2024.06.008

Overall Structural Design of Submerged Buoys Based on Glass Instrument Cabins

HUANG Hanqing

(Cross Technology of China State Shipbuilding Co., Ltd., Yichang 443000, China)

Abstract Submerged buoys are important equipment for long-term underwater fixed-point marine environment observation. Glass instrument cabins, with their excellent pressure resistance, wave penetration, and corrosion resistance properties, are widely used in the design of submerged buoys. In this article, an overall structure of a submerged buoy based on a single glass instrument cabin is designed, the buoyancy and diving speed of the submerged buoy are analyzed, a simple and reliable parallel fuse release device is introduced, and a reliable recovery process is proposed. The submerged buoy can also be equipped with different mooring systems to become an anchored buoy or a bottom-seated buoy to adapt to different usage purposes and marine environments, and has certain promotional value.

Key words submerged buoy; glass instrument cabin; release device

0 引言

由于海洋环境的复杂性和独特性, 已有海洋观测数据存在的短暂、不连续等问题一直制约着海洋科学的发展。美国、日本、加拿大以及欧洲各国的著名海洋研究机构, 凭借在海洋观测领域的先发优势, 纷纷加大投入开展海洋观测网络和海洋装备关键技术研究^[1-4]。

潜标可适应不同水深的海洋环境, 搭载各类海洋观测传感器, 对海洋环境信息进行长期定点采集、处理、记录, 并可通过水声通信、卫星通信等不同通信方式的传输, 对潜标状态或海洋信息进行传输^[5-6], 是海洋环境观测和目标侦探的重要设备。一般要求由水面船只在四级海况以下实现可靠快速布放回收^[7], 某些特殊海域完成侦察任务的潜标, 还要求潜标外形伪装性强, 适应深浅海海洋环

境，可以快速、机动、隐蔽、简便布放，高可靠回收，留海时间大于1年。

我国业务化运行的潜标数量少，深远海潜标更是稀少^[8-9]，本文提出并构建了一种基于玻璃仪器舱的潜标总体结构，设计了简易可靠的并联熔断释放器，对潜标上浮、下潜速度进行了分析，提出了可靠回收流程。该仪器舱配置不同的系留系统，可构成锚系潜标或坐底潜标以适应不同的使用目的和海洋环境，该种形式的潜标结构紧凑、布放回收方便，特别适合于深海和需要快速隐蔽布放回收场合使用。

1 玻璃浮球及其在潜标中的应用

潜标按水下形态可分为锚系潜标和坐底潜标2大类。两者在组成、任务剖面、通用质量要求等方面差别不大，根据使用水深、测量仪器舱所处深度、布放要求等，选择使用坐底或锚系潜标。

锚系潜标一般含观测系统、通信系统、悬浮平台（主浮体）、系留系统、释放回收系统、甲板单元等；坐底潜标一般含观测系统、通信系统、坐底平台（主浮体）、释放回收系统、甲板单元等^[10]。

潜标主要任务和工作过程一般如下：

1) 启动观测仪器。

对搭载测量单元进行检查参数设定、同步授时，上电进入工作状态，设定信标、出水报警装置等设备参数。

2) 潜标布放。

通过作业船、船吊及放索架等辅助布放设备，布放潜标。

3) 潜标工作。

潜标就位后，其上搭载测量单元持续按照设定时间或时序进行工作。出水示位报警装置长期监控并在潜标出水后自动播报位置信息^[11]。

4) 潜标回收。

当工作时间结束后，作业船通过甲板单元换能器发送声学释放指令，释放器启动分离动作，潜标与锚完成分离，仪器舱或主浮体上浮出水，报警装置自动向甲板单元发送定位信息，便于海上寻找潜标，随后打捞船对潜标实施回收。

5) 数据回收与分析。

通常使用金属材料制作成潜标仪器舱，为水下设备提供水密舱室，同时用浮力材料和金属架加工制作主浮体。仪器舱通常安装于主浮体，主浮体通过系留系统连接释放回收系统，在接收到甲板单元回收指令后，主浮体与锚系解脱而上浮回收。深海使用由于水压大，对材料抗压、时间稳定性、透波等性能要求会更高，系统复杂度会增加^[12-13]。玻璃仪器舱材质为硼硅玻璃，具有热膨胀率低、不易破碎，抗压强度大、重量轻、永不腐蚀、无磁性、不导电、透波等特点，玻璃仪器舱以其优良性能，并可实现系统简便布放与回收，在潜标设计特别是深海潜标上正得到广泛应用。早期我国使用的玻璃仪器舱大部分依靠进口，近期国产化玻璃仪器舱在深海浅海均得到成功应用^[14]。

玻璃仪器舱在深海研究中的应用不仅体现了现代海洋科学技术的进步，还促进了深海未知领域的探索与开发。随着技术的进一步发展，玻璃仪器舱将在未来的海洋科学的研究中发挥更大的作用，特别是在深海生物、地质及环境监测等领域^[15]。

玻璃浮球在潜标中的应用是多方面的，主要包括以下几个方面：

1) 提供浮力。

玻璃浮球由于不存在腐蚀问题，广泛应用于潜标系统中作为浮力装置。这些玻璃浮球能够为深海研究设备提供必要的浮力，确保设备能够在水下稳定工作。

2) 保护仪器设备。

玻璃浮球还能作为深海仪器舱使用，代替昂贵的钛合金耐压外壳，为深海仪器设备提供坚固的保护壳。这种应用不仅降低了成本，还提高了设备的可靠性和耐用性。

每个玻璃仪器舱都经过严格的出厂压力测试，并可选择添加油漆涂层或进行光学抛光，以满足不同的科研需求和环境适应性，根据不同的研究需求，玻璃仪器舱提供了多种可选功能，如不同精度的钻孔、水密接头以及特殊涂层等，这些可定制化

的选项极大地扩展了其应用场景。如德国 Nautilus 公司制造的 VITROVEX 系列深海玻璃仪器舱，专为深海研究设计，能够直达万米海底，深海研究常常需要在特定深度释放设备或进行样本回收，玻璃仪器舱配合法国 OCEANO 2500 声学释放器使用，可以实现远程控制释放，增加了操作的灵活性和安全性。

所有类型的玻璃浮球均可制作成仪器舱，玻璃仪器舱是设备的载体，为电路板、电池、水下相机等设备提供水密耐压环境以及安装空间与结构，并提供浮力。

图 1 为我国在引进基础上研发的某海底地震仪 (Ocean Bottom Seismometer, OBS)，该地震仪于 2017 年在马里亚纳海沟深渊成功应用，该地震仪为完成地震观测的坐底潜标，采用玻璃浮球作为仪器舱，回收时声学释放器动作，固定仪器舱的数据钢丝绳解脱，仪器舱上浮而回收^[16]。

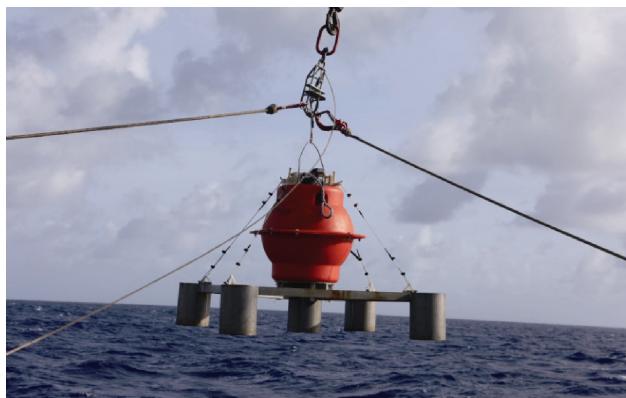


图 1 海底地震仪

Fig. 1 Ocean bottom seismometer

美国罗德岛大学开发的系列逆式回声仪 (Inverted Echo Sounder, IES)，其总体结构包含玻璃仪器舱、系留绳、底座等，整体配置成锚系潜标，玻璃仪器舱内的声学换能器向海面发射声波，同时接收水面反射的回波，根据声波返回时间，来反演海洋区域的物理性质^[17]。

2 单浮球玻璃仪器舱总体结构

潜标总体结构模块是必须考虑布放环境条件、连接结构、仪器所处深度、布放回收方法的系统工

程，需要进行系统配置设计、水下耐腐蚀设计、姿态和系统受力分析等。连接件的设计要保证足够的强度安全系数，设计和配置零部件时，受力计算要合理分配和选取一定的安全系数^[18]。

制作成潜标用途的玻璃仪器舱总体结构一般包含玻璃仪器舱、保护壳、释放装置、舱外固定件、系留连接件等。

为保证潜标的操作性、保障性和使用条件等通用质量特性，潜标总体结构设计会根据给出的重量和尺寸限制和海域深度、海流等条件，合理调节释放装置、舱外固定件、系留连接件安装位置，确定潜标内部电池重量和释放配重，即保证潜标携带的传感器及采集传输等电路模块满足工作时间要求，又保证合理的上升下降时的速度、抗入水冲击和落底冲击性能，还要满足一定的姿态和抗流性能，以保证所搭载的传感器正常工作。

图 2 为一种易布放且回收可靠的基于单玻璃仪器舱的潜标总体结构。



图 2 仪器舱总体结构

Fig. 2 Overall structure of instrument cabin

潜标外形可以分为上、中、下 3 部分，上部为仪器舱，中部为释放装置，下部为系留连接件。布放时，潜标整体负浮力下沉，回收时，发出定时释放或水声遥控指令后，释放器按一定策略动作，系留连接件与仪器舱分离，仪器舱上浮。

潜标整体采取防护耐腐蚀措施，保证水下长时间正常工作；舱外固定件用于安装海洋观测传感器、遥控释放水声换能器以及水密电缆等；系留连接件连接不同的系留锚系，可配置成坐底潜标和锚系潜标。潜标整体须保证一定的上浮下潜速度，配

置成坐底潜标时,为保证一定的水下姿态,调节质心浮心位置进行防倾覆设计,坐底锚增加挡泥板进行防泥沙掩埋设计;配置成锚系潜标时须考虑锚系整体偏降;释放装置须满足耐压、额定负载、破断负载、动作时间等要求。

由于潜标体积和重量限制,以及工作时长的要求,仪器舱携带比容量尽量高的电池,比容量是指单位质量或体积电池所输出的电量,电池一般为仪器舱重量占比最大的模块。一般采用串并组合输出和圆柱形对称紧凑设计,在仪器舱内设计圆环形安装支架,固定电池及电路模块,安装架的承重点尽量靠下,使仪器舱整体质心下移,浮心上移,质浮心力矩加大且质心浮心在仪器舱几何中轴线上,以保证仪器舱水面稳定性。仪器舱上浮出水后,所安装的卫星报警装置自动向甲板单元发送定位信息,设计轻质支架使卫星天线尽量贴近玻璃仪器舱顶部内壁,保证仪器舱出水后卫星天线高出水面以保证卫星通信可靠性。

3 上浮下潜速度计算

紧凑而轻便的潜标整体结构设计及其上浮下潜速度是实现快速隐蔽布放回收的关键。

系统布放后所受流体阻力为^[19]

$$R = \frac{1}{2}CS\rho v^2$$

式中: R 为流体阻力; C 为阻力系数; S 为特征面积; ρ 为流体密度; v 为相对速度。

设系统重量为 G , 系统排水量为 W , 则系统浮力为 $P=W-G$ 。

系统在水中的运动微分方程为

$$(M+m)\frac{dv}{dt} = P - R$$

式中: M 为系统质量; m 为系统附加质量; v 为系统运动速度; P 为系统浮力; R 为系统阻力。

当系统运动速度达到稳定匀速时,则有:

$$P - \frac{1}{2}CS\rho v^2 = 0$$

此时极限速度:

$$v_{np} = \sqrt{\frac{2P}{CS\rho}}$$

由上式可见,为保证一定的上浮下潜速度,需要尽量减小系统特征面积 S 和阻力系数 C 。在保证结构强度前提下,采取紧凑而轻便结构设计、保护壳开导流孔等方法,可以有效提高上浮下潜速度。

潜标上浮和下潜可以用水声测距测深连续跟踪,较准确得到实际上浮和下潜速度。图3为某潜标从水面下潜到约4 000 m海底时,采用甲板单元进行水声跟踪,每6 s测量其当前距离(深度)而得到的点数-距离变化图,计算可得其下潜速度约1 m/s。

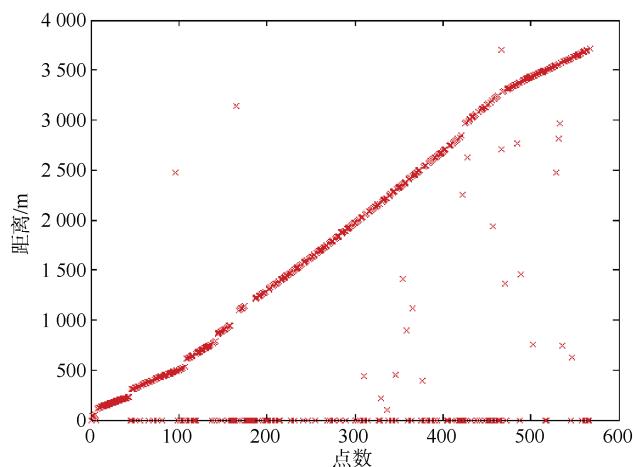


图3 水声跟踪潜标下潜

Fig. 3 Diving of underwater acoustic tracking buoy

4 释放装置设计

释放装置接收到潜标释放指令而动作,玻璃仪器舱与锚系脱离而上浮。释放装置须满足耐压、额定负载、破断负载、动作时间等要求。

常用的释放解脱有电机驱动机械解脱、气动分离、熔断释放等几种方式,综合考虑实现复杂程度、可靠性、使用水深、重量等要求,本文设计了双熔断释放装置,该装置为并联机构,其中任一熔丝熔断,即可完成正常的分离动作。该装置有重量轻、不受水深影响、动作可靠等特点。

熔断释放装置由基体、熔断丝、电极丝、挂载杆、挂载环等组成。挂载杆、挂载环通过拉紧杆、旋转卸扣实现与锚系拉紧固定,并联熔断释放装置如图4所示。

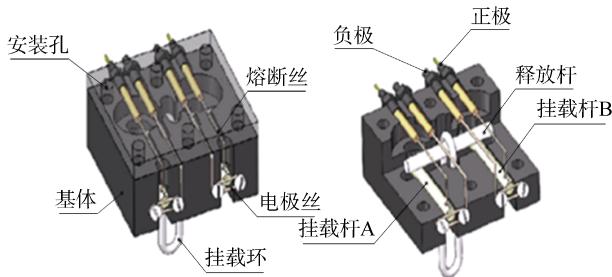
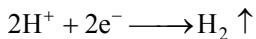


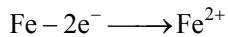
图 4 并联熔断释放器
Fig. 4 Parallel fuse release device

每个熔断释放器上有两组接插件,与仪器舱内电源连接,熔断丝与电源正极连接,电极丝与电源负极连接,当接收到释放指令时,接通电源,熔断丝、电极丝、导电海水分别以阳极、阴极、电解液形成电解池,在熔断丝上发生氧化反应,一定时间后熔断丝被氧化熔断。

在电极丝上发生还原反应:



在熔断丝上发生氧化反应:



并联熔断释放器采用双熔断丝承重结构如图 5,设计采用杠杆承重原理,保证满足额定负载和破断负载要求。

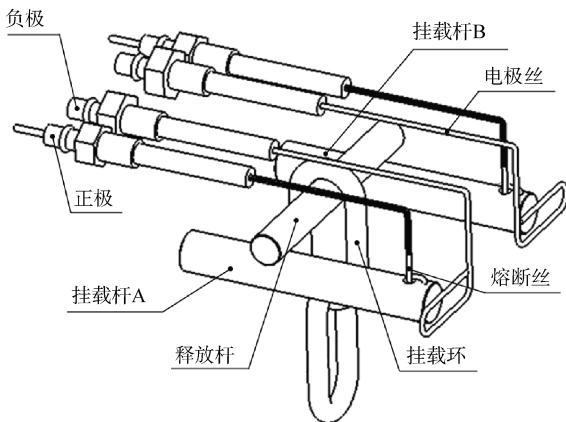


图 5 双熔断丝承重结构
Fig. 5 Dual fuse wire bearing structure

释放杆搁置于 2 个并联的挂载杆,以搁置点为支点。挂载杆依靠熔断丝的拉力固定,熔断丝熔断拉力消失后,挂载杆脱落,释放杆随即脱落。

2 根熔断丝上分别连接挂载杆 A、挂载杆 B,释放杆连同挂载环同时被挂载杆 A/B 限位。当需要释放负载时,通过水密接头给熔断机构上电,熔

断丝与电极丝间发生电化学腐蚀,熔断丝被腐蚀断开后,释放杆从基体上滑落,释放负载。只要有任意一根熔断丝熔断,释放杆即可脱落,挂载环被抛弃,完成释放动作,具体释放过程如图 6 所示。

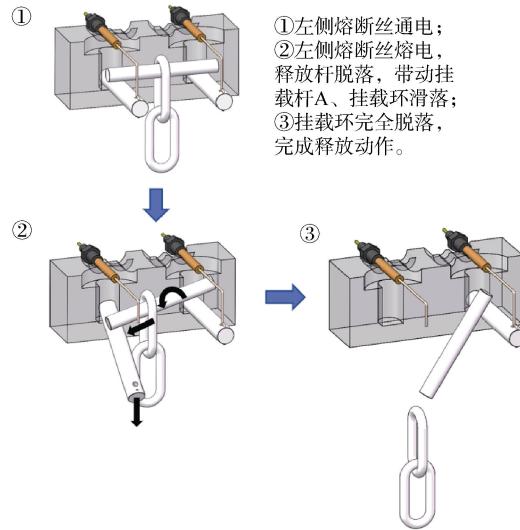


图 6 释放过程
Fig. 6 Release process

对熔断释放器进行受力分析,如图 7 所示。 G 为负载, F_1 为支撑力, F_2 为熔断丝拉力,通过杠杆作用,熔断丝所受拉力为负载的 L_1/L_2 。 L_2 优选为 L_1 的 3~10 倍。

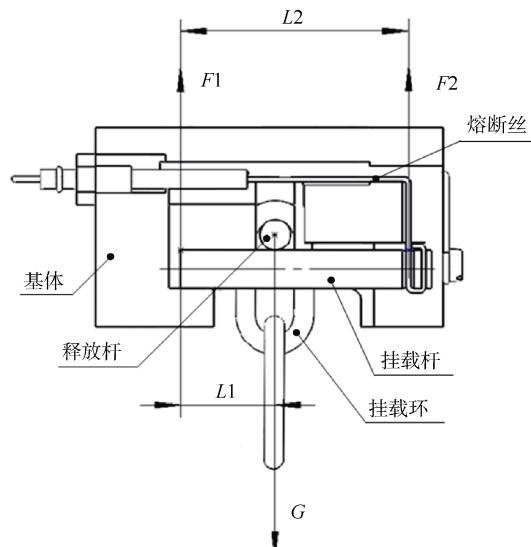


图 7 受力分析
Fig. 7 Force analysis

熔断丝材料具有优良的耐腐蚀及力学性能,特

别适用于直接接触海水且要求高机械性能的应用场景。

熔断时间与熔断丝直径成反比,承载拉力与熔断丝直径成正比,由于需要同时满足快速熔断及大负载的要求,合理选择熔断丝直径并进行拉力和熔断试验。

熔断释放装置采用的双熔断结构,熔断流程为:给第1根熔断丝上电,设定时间到后读取压力传感器的信息,如果2次压力传感器的深度相同,则判断第1根熔断丝熔断失败,给第2根熔断丝上电。熔断流程如图8。

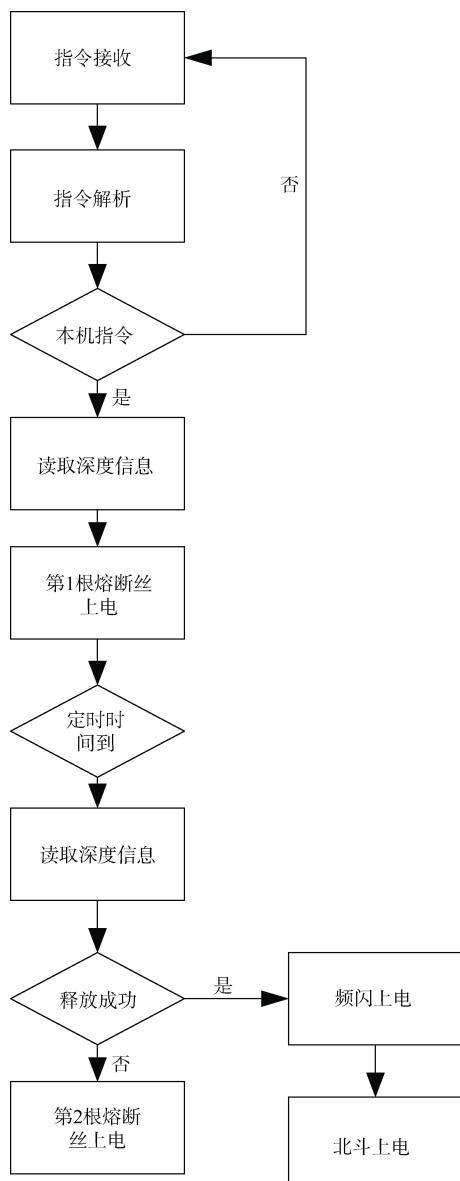


图8 熔断流程

Fig. 8 Procedure of fuse release

仪器舱上浮到水面后,频闪灯上电便于夜间海面指示位置,同时仪器舱内北斗模块发送位置信息到潜标甲板单元,引导船只打捞回收。图9–10分别为某潜标仪器舱回收示意图和完成水下海洋信息收集任务后,上浮到海面待回收的玻璃仪器舱。

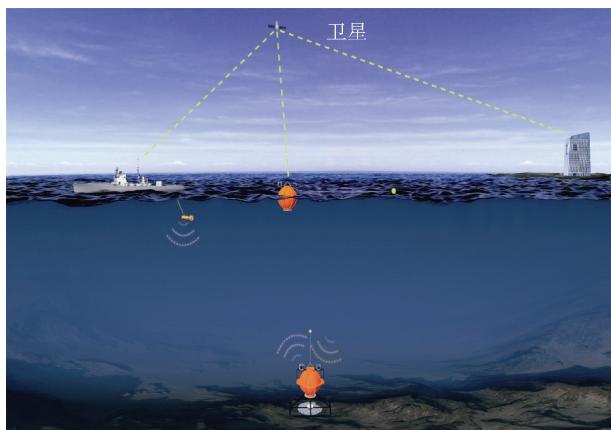


图9 潜标仪器舱回收示意图

Fig. 9 Diagram for recovery of instrument cabin



图10 上浮到海面待回收的玻璃仪器舱

Fig. 10 Glass instrument cabin for salvage

5 结束语

玻璃仪器舱以其优良的耐压、透波、抗腐蚀等性能在潜标设计中正得到广泛应用。随着科技的进步,玻璃仪器舱的应用也不断拓展。例如,中建材玻璃新材料研究总院成功研制出首套国产全海深海底地震仪玻璃球舱,实现了我国全海深玻璃球舱制备的“零”的突破,显著提升了我国深海技术装备能力和自主创新水平。随着技术的不断创新和发展,相信玻璃仪器舱在未来的海洋探索和研究中将发挥更加重要的作用。本文设计了一种基于单玻璃

仪器舱的潜标总体结构，并为其配置了简易可靠的并联熔断释放器。该玻璃仪器舱可以配置不同的系留系统成为锚系潜标或坐底潜标，以适应不同的使用目的、使用水深和海洋环境。构建的潜标系统可以采用吊放装置进行布放，也可采取推送方式快速布放。该种形式的潜标结构紧凑、布放回收方便，特别适合于深海使用和需要快速隐蔽布放回收场合使用。

参考文献

- [1] 王春谊, 李芝凤, 吴迪, 等. 美国海洋观测系统分析[J]. 海洋技术, 2012, 31 (3): 9-12.
- [2] 吴自军. 美国大型海底观测计划 (OOI) 正式启动运行[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2016 (6): 134-134.
- [3] 树永, 林宪生, 李新妮. 欧洲海洋开发与利用现状研究及对我国的启示[J]. 海洋开发与管理, 2009, 26 (3): 22-27.
- [4] 申中寅. 日本海洋实时监测系统 DONET 简介[J]. 国际地震动态, 2018, 475 (7): 34-40.
- [5] 李楠, 黄汉清, 赵晓. 水下实时观测潜标系统技术发展[J]. 数字海洋与水下攻防, 2021, 4 (2): 99-106.
- [6] 徐立军, 侯朝焕, 鄢社锋, 等. 深海潜标观测数据无线实时传输系统设计[J]. 电信科学, 2018, 34 (6): 35-41.
- [7] 李民, 刘世萱, 王波, 等. 海洋环境定点平台观测技术概述及发展态势分析[J]. 海洋技术学报, 2015 (34): 42-43.
- [8] 王修林, 王辉, 范德江. 中国海洋科学发展战略研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2008.
- [9] 马毅, 我国海洋观测预报系统概述[J]. 海洋预报, 2008, 25 (1): 31-40.
- [10] 陈鹰, 杨灿军, 陶春辉, 等. 海底观测系统[M]. 北京: 海洋出版社, 2006.
- [11] 白广奇, 赵伟, 白旭旭, 等. 卫星通信在海洋水下定点长期观测中的应用 一种新型实时/准实时潜标观测系统[C]//第十三届卫星通信学术年会论文集. 北京: 中国通信学会卫星通信委员会和中国宇航学会卫星应用专业委员会, 2017.
- [12] 中国船舶重工集团公司. 海军武器装备与海战场环境概论[M]. 北京: 海洋出版社, 2007.
- [13] 方书甲. 海洋环境对海军装备性能的影响分析[J]. 舰船科学技术, 2004, 26 (2): 5-10.
- [14] 何中文, 程骏超, 鞠鸿彬, 等. 我国海洋信息化现状分析及展望[J]. 舰船论证参考, 2016, 26 (3): 8-10.
- [15] 吴立新. 努力将海洋变成"透明海洋[N]. 经济日报, 2015-05-05 (11).
- [16] 李风华, 郭永刚, 吴立新, 等. 海底观测网技术进展与发展趋势[J]. 海洋技术学报, 2015, 34 (3): 33-35.
- [17] 张宇, 岳宜宛. 一种逆式回声仪传播时间的数据处理方法[J]. 数字海洋与水下攻防, 2024, 7 (1): 119-127.
- [18] 张云海. 实时传输潜标及自持式剖面漂流浮标产品化技术研究总结报告[J]. 科技创新导报, 2016 (5): 172-172.
- [19] 余湖清, 孙朴. 水雷总体技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.

(责任编辑: 张曼莉)