

# 国产系列化水下声学释放器研制及示范应用

刘松佐<sup>1,2,3,4</sup>, 乔钢<sup>1,2,3,4</sup>, 周锋<sup>1,2,3,4</sup>, 马路<sup>1,2,3,4</sup>, 王兴远<sup>5</sup>, 刘亚男<sup>1,2,3</sup>, 高健乔<sup>1,2,3</sup>,  
钱航<sup>6</sup>, 王佳峰<sup>1,2,3</sup>

(1.哈尔滨工程大学 水声技术全国重点实验室, 哈尔滨 150001; 2.海洋信息获取与安全工信部重点实验室(哈尔滨工程大学) 工业和信息化部, 哈尔滨 150001; 3.哈尔滨工程大学 水声工程学院, 哈尔滨 150001; 4.哈尔滨工程大学三亚南海创新发展基地, 三亚 572024; 5.哈尔滨工程大学 机电工程学院, 哈尔滨 150001; 6.哈尔滨工程大学 物理与光电工程学院, 哈尔滨 150001)

**摘要:** 水下声学释放器是海洋潜标系统中必不可少的核心仪器, 是用量最大的海洋声学仪器之一。当前, 我国主要依赖进口的声学释放器, 这对我国水下信息系统的安全构成了长期威胁。因此, 面对威胁我国海洋安全的“卡脖子”难题, 研制了覆盖浅海、深海至万米全海深的系列化声学释放器和配套甲板单元。其中, 研制的万米全海深型声学释放器是首个国产化全海深声学释放器, 已应用于全球最深的马里亚纳海沟, 该释放器的研制填补了国内在全海深释放器自主研制方面的空白, 实现了对国外同类释放器产品的替代。系列化声学释放器已成功应用于千岛湖水下组网节点回收、西太平洋深海潜标系统回收、马里亚纳海沟“天涯号”全海深着陆器回收, 在我国海洋工程仪器国产化进程中起到了很好的示范作用。

**关键词:** 声学释放器; 海洋声学仪器; 水下遥控设备; 海洋工程; 国产化; 示范应用

## Development and Demonstration Application of Domestic Series Underwater Acoustic Releases

LIU Songzuo<sup>1,2,3,4</sup>, QIAO Gang<sup>1,2,3,4</sup>, ZHOU Feng<sup>1,2,3,4</sup>, MA Lu<sup>1,2,3,4</sup>, WANG Xingyuan<sup>5</sup>,  
LIU Yanan<sup>1,2,3</sup>, GAO Jianqiao<sup>1,2,3</sup>, QIAN Hang<sup>6</sup>, WANG Jiafeng<sup>1,2,3</sup>

(1. National Key Laboratory of Underwater Acoustic Technology, Harbin Engineering University, Harbin 15001, China; 2. Key Laboratory of Marine Information Acquisition and Security (Harbin Engineering University), Ministry of Industry and Information Technology, Harbin 150001, China; 3. College of Underwater Acoustic Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China; 4. Sanya Nanhai Innovation and Development Base of Harbin Engineering University, Sanya 572024, China; 5. College of Mechanical and

Electrical Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China; 6. College of Physics and

Optoelectronic Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

**Abstract:** In ocean subsurface buoy systems, underwater acoustic releases are an indispensable core instrument and are among the most widely utilized marine acoustic instruments. At present, the acoustic releases utilized in China are primarily imported, which presents a long-term concern regarding the security of China's underwater information systems. In response to this "bottleneck" challenge, we have developed a series of acoustic releases and corresponding deck units covering shallow seas, deep seas, and ultral-deep seas applications. We have developed the first domestically produced full-ocean-depth acoustic release, which has been successfully deployed in the Mariana Trench, the deepest ocean trench in the world. This development has filled a significant gap in China's independent research and development of ultral-deep sea acoustic releases and has achieved substitution for similar foreign products. The series of acoustic releases has been successfully deployed in the recovery of underwater networking nodes in Qiandao Lake, the recovery of deep-sea subsurface buoy systems in the Western Pacific Ocean, and the recovery of the "Tianya" ultral-deep lander in the Mariana Trench. They have served as exemplary models for the localization of marine engineering instruments in China.

**Keywords:** Acoustic release; Marine acoustic instruments; Underwater remote-controlled equipment; Marine engineering; Localization; Demonstration application

## 1 引言

水下声学释放器是一种通过声学遥控指令控制机械释放、实现水下装备回收的仪器。在坐底式海洋潜标系统中，声学释放器是必不可少的关键设备，在海洋科考、资源开发、海底工程、深海目标监测等领域中发挥着广泛的作用<sup>[1]</sup>，是用量最大的海洋声学仪器之一。

国外在声学释放器研制上起步较早，美国 Teledyne Benthos 公司、美国 Edgetech 公司、日本 NiGK Ocean 公司、法国 Ixblue 公司和英国 Sonardyne 公司等已经具备系列化声学释放器产品的研制能力<sup>[4]</sup>。当前，我国海洋工程中使用的声学释放器以进口为主，外国公司掌握着所有声学遥控指令，长期威胁我国水下潜标系统的安全，且大深度释放器对我国限制进口。因此，亟需针对威胁我国海洋信息安全的“卡脖子”难题，研制具有自主知识产权的系列化声学释放器，突破国外大深度释放器禁运封锁，实现水下声学释放器的国产化替代，支撑海洋工程装备产业发展，实现深海关键装备自立自强。

深海环境的复杂性以及水下声学释放器自身极高的可靠性要求,使得声学释放器的自主研发和应用面临着诸多挑战。哈尔滨工程大学水声通信与网络技术团队在水下声学通信、水下装备制造、实验室综合测试、深远海测试与应用示范等方面具有丰富经验和基础优势,依托哈尔滨工程大学和水声技术全国重点实验室等平台,自主研发了浅海型声学释放器、深海型声学释放器、万米全海深型声学释放器等系列化声学释放器设备和配套甲板单元。其中,研制的全海深型声学释放器是首个国产化全海深声学释放器,在全球最深的马里亚纳海沟,成功执行“天涯号”深海着陆器的回收任务,填补了国内全海深释放器自主研发的空白,实现了对国外释放器产品的替代,声学释放器相关技术达到了国内领先、国际先进水平。

## 2 总体设计

### 2.1 工作原理

水下声学释放器的工作原理如图 1 所示,仪器工作时,由母船或岸基平台上的水面甲板单元进行遥控,配合水下声学释放单元用于发送遥控指令、接收反馈并进行记录和显示,完成声学遥控释放、水下状态查询、声学通信、测距和定位等功能。在岸上进行简单测试时,也可以用手持控制器进行遥控。布放时,通常将需要回收的声学设备与声学释放器固定在一起,下方连接具有足够重量的锚系设备沉至海底,上方悬挂具有一定浮力的浮球,组成坐底式潜标系统。当声学释放器在水下值守时,通过水面甲板单元监测水下工作状态;当需要回收设备时,通过水面甲板单元发送特定编码的声学遥控释放信号,水下声学释放器收到指令后将驱动机械释放机构,使锚系设备脱钩,系统在正浮力的作用下上浮,从而完成回收。

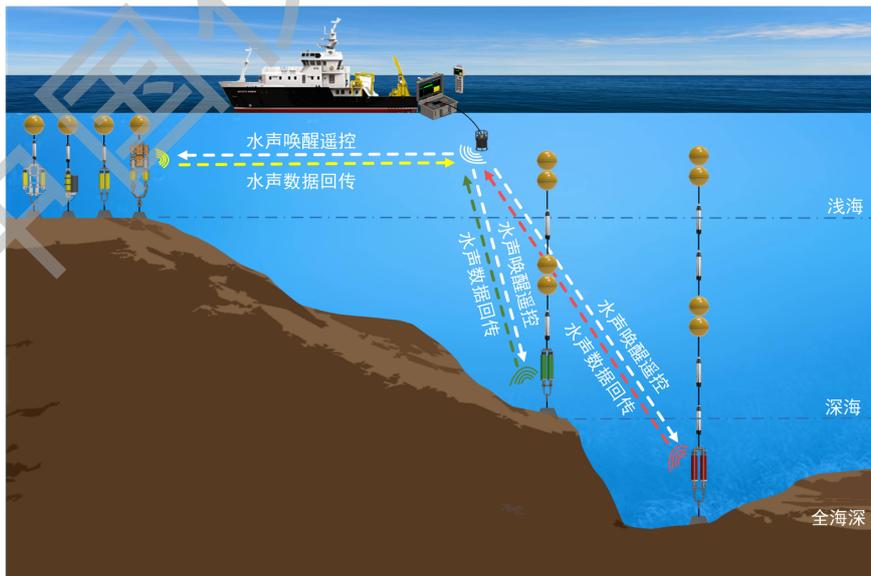


图 1 声学释放器工作原理

### 2.2 水下声学释放单元设计

水下声学释放单元总体结构设计如图 2 所示，核心部件包括耐压壳体、换能器、电子仓、电池包、驱动电机以及释放机构。

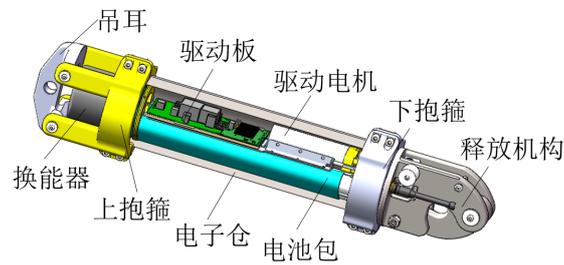


图 2 水下声学释放单元结构

耐压外壳根据声学释放器的额定释放负载、工作深度等指标进行参数设计，材料通常为不锈钢或钛合金；同时，综合考虑螺栓组布置、舱体外形、端盖-壳体连接、动密封结构等进行整体优化设计，以达到声学释放器在深海大负载和恶劣海况下长期在位工作的抗拉、耐压、耐海水腐蚀等要求<sup>[5]</sup>。换能器采用溢流式圆环结构的收发合置换能器，具有宽带、耐高静水压等特点，实现低失真度的水声遥控与通信信号发射与接收，保障释放器声信号收发的可靠性。电子仓是声学释放器的控制中心，充分利用现有低功耗平台和可靠性设计成果搭建成熟的释放器电路，通过平衡系统功耗和失效率形成简化的最小配置系统，水下释放单元硬件电路主要由收发合置模块、功率放大器、前置放大器、信号处理模块、电源管理模块、电机驱动模块等组成，处理接收的水声信号指令驱动释放器完成释放、状态监测、声学通信和测距、定位等功能，同时，通过换能器进行上行信息回传<sup>[6][7]</sup>。电池包的参数根据工作时间进行紧凑型设计，并打包成模块化结构，便于拆装，配合电源管理模块，实现电量实时反馈和异常监测。释放机构根据工作深度和场景进行设计，深海型声学释放器的释放机构如图 2 所示，通过一级或多级杠杆提高负载能力，释放机构所需的动力由驱动电机提供，电机旋转时驱动释放连杆旋转，使机械结构产生位移，在锚系设备拉力的作用下和连杆分离。这种方式动作灵活、可靠性高，能够承受较大负载<sup>[8]</sup>。

### 2.3 水面甲板单元设计

水面甲板单元总体结构设计如图 3 所示，整体为基于手提三防机箱研制的具备全面功能的机箱式结构，核心组件包括紧凑型一体化机箱、换能器、电子仓、可充电电源模块、显示控制面板以及外部接口等。



图3 水面甲板单元结构

水面甲板单元用于在母船或岸基平台上实现对水下声学释放单元和遥控和信息交互<sup>[9]</sup>。手提式一体化安全防护机箱是整个电子通信系统的主要防护载体，具有防水、防震、防腐蚀、防盐雾等作用，适应恶劣天气和海况下的人工作业，便于携带。显示控制面板是承载触摸显示屏、开关、串口等电器元件的重要平台，对外提供相关组件的连接，包括调试串口、换能器接口、电池充电；对内为机箱内部电子仓、电池模块等组件提供保护。触摸显示屏是甲板单元实现人机交互的媒介，配合内部软件协议实现安全密钥认证、水下声学释放单元 ID、发射声源级等参数设置和遥控指令的发送，同时接收水下回传信息并实时显示<sup>[10]</sup>。

### 3 关键技术

复杂恶劣的海洋理化环境、长期稳定的水下在位值守对声学释放器的研制提出了极高要求，水下声学释放器的自主研制面临着远程稳健水声遥控、水下状态数据可靠回传、深海耐高压大负载释放等诸多需要解决的关键难点问题。

#### 3.1 超低功耗水声稳健遥控技术

声学释放器通常以潜标的形式在水下长期工作，布放成本高，电池容量有限，低功耗板卡计算能力有限，进而限制了其信号处理能力。此外，复杂海洋环境噪声和潜在非合作方干扰，导致甲板单元难以对水下声学释放器进行可靠遥控。针对这一难点，设计基于 FH-FSK 的超低功耗水声稳健遥控技术<sup>[11]</sup>，在信号发射端，编码信息序列在常规 FSK 调制的基础上，按照预设的跳频规律进行混频调制；在接收端，再按照预设的编码进行解跳，再通过优化的快速 FSK 解调器获取信息序列，收发实现简单，在复杂海洋环境下可靠性高<sup>[12]</sup>。

#### 3.2 时频双域高精度补偿的抗干扰水声通信技术

由水面甲板单元吊放的换能器在接收水声信号时易受到风浪漂移、船体自噪声、海面复杂多径反射的影响，导致甲板单元通信效果差，难以可靠接收水下回传的状态数据，更无法对释放器连接的深海观测平台的状态信息进行有效监控。针对这一难点，提出时频双域高精

度补偿的抗干扰水声通信技术,构建了适配局部和整体快衰落水声信道频响的稀疏采样预插值模型,通过动态预补偿正交匹配追踪实现深海稀疏信道高精度估计<sup>[14]</sup>;同时,联合插值与卡尔曼滤波方法提高水声时变非一致多普勒估计精度<sup>[16]</sup>。通过该技术,同时提高时变多径和多普勒的估计与补偿精度,实现高鲁棒的抗干扰水声通信,保障声学释放器可靠信息回传。

### 3.3 机械释放机构的可靠设计与测试技术

声学释放器处于整套海洋观测系统的下端,是连接浮球-设备组合体与重力锚、锚定和回收观测系统的关键设备。深海声学释放器水下工作环境恶劣,海水含盐度高、压强大,并且观测系统中重力锚负载与浮球拉力较大。声学释放器在深海拉压耦合强负载下难以成功释放。针对这一难点,提出深海拉压耦合强负载下机械释放机构的可靠设计与测试技术,设计一种二级杠杆式声学释放器释放机构,接到释放指令后,首先驱动二级杆转动进而使一级杆释放负载,完成释放动作,从而减小了释放器释放大负载时所需的驱动力矩,提高释放可靠性,满足全海深大负载可靠释放需求;同时,采用基于接触状态超声测量技术的释放器高压密封状态评估方法<sup>[18]</sup>,联合结构优化设计和装配检测评估提高释放器的可靠性,实现深海拉压耦合强负载下顺利释放。

## 4 系列化水下声学释放器

面向浅海、深海至万米全海深以及多种应用场景的需求,项目团队研制了3型系列化声学释放器,实现对各类水下关键设备的自主可靠回收。

### 4.1 浅海型声学释放器

该系列为浅海、湖泊等回收全部潜标系统研制,实物如图4所示。通过配套绳桶,释放后水下释放单元浮上水面,同时绳桶端盖打开,通过缆绳与水下锚系结构连接,在回收仪器的同时也完成海底锚系结构的回收。主要额定技术指标为:工作频率20-30kHz,工作深度500m,通信距离2000m,释放负载500kg,水下连续工作时间2年。



图4 浅海型声学释放器

浅海型声学释放器采用旋转推离式释放机构，释放机构为 PEEK 材质螺母，同时浸渍特殊润滑剂，有效防止浅海生物附着和海水腐蚀；释放器耐压舱体选用 316L 不锈钢材质，具有优异的抗海水腐蚀性能。全系统采用低功耗设计，体积小、重量轻，使用灵活，可靠性高，设置安全密钥认证、释放 ID 认证、释放操作确认三重安全操作保障。除释放功能外，还可以作为应答器使用，功能包括电量监测、姿态监测、测距、实时 GPS 信息等。

## 4.2 深海型声学释放器

该系列为回收大深度深海仪器设备和信息传输研制，实物如图 5 所示。除水面甲板单元遥控实现水下声学释放单元释放外，也可实现水下声学释放单元与水下系统通过有缆方式通信以及水下信息高速回传。主要额定技术指标为：工作频率 8-16kHz，工作深度 6000m，通信距离 10000m，释放负载 6000kg，水下连续工作时间 2 年。



图 5 深海型声学释放器

深海型声学释放器采用电机驱动一级杆式释放机构，材料为 TC4 钛合金，浸渍特殊润滑剂，有效防止浅海生物附着和海水腐蚀。除水声遥控释放外，还可以作为应答器使用，功能包括噪声级监测、电量监测、姿态监测、信息存储、时间同步、自检等。同时，集成高速水声通信技术，实现水下重要信息高效回传。

## 4.3 全海深型声学释放器

该系列为马里亚纳海沟 11000 米深海底的水下设备回收任务研制，实物如图 6 所示。该型释放器是首个国产化全海深声学释放器，集成声学释放、应答测距、双向通信功能，具有高可靠、低功耗、抗干扰的特点。主要额定技术指标为：工作频率 8-16kHz，工作深度 11000m，通信距离 15000m，释放负载 10000kg，水下连续工作时间 4 年。



图 6 全海深型声学释放器

全海深型声学释放器采用电机驱动二级杆式释放机构，材料为 TC4 钛合金，浸渍特殊润滑剂，有效防止浅海生物附着和海水腐蚀。使用复杂编码抗干扰水声遥控技术，可靠性高。设置安全密钥认证、释放 ID 认证、释放操作确认三重安全操作保障。除释放功能外，还可以作为应答器使用，功能包括电量监测、释放器倾角监测、测距、查看释放器状态信息等。

## 5 示范应用

### 5.1 千岛湖水下潜标节点回收

2021 年 5 月，在千岛湖大型水声通信组网系统中，研制的多套浅海型声学释放器随潜标节点部署，在水下连续稳定运行，支撑水下组网连续获取千岛湖水域丰富的水文数据，并成功回收全部潜标节点。



图 7 千岛湖水下潜标节点回收

### 5.2 西太平洋深海潜标系统回收

2024年2月，在西太平洋海域开展的远程水下通信试验中，研制的多套深海型声学释放器支撑深海潜标系统进行高效的水下数据采集任务，实现了深海6千米级潜标系统的可靠水声遥控释放和稳健信息回传，有效保障了试验的顺利执行。



图8 西太平洋深海潜标系统回收

### 5.3 马里亚纳海沟“天涯号”全海深着陆器回收

2021年11月，在马里亚纳海沟，研制的全海深型声学释放器搭载探索一号TS2-2航次，在“天涯号”全海深着陆器执行重要海底任务期间，成功完成释放任务，最大工作深度达到10920米，解决了“天涯号”全海深的回收难题。



图9 马里亚纳海沟“天涯号”深海着陆器回收

## 6 总结与展望

针对我国水下声学释放器长期依赖进口，严重威胁水下信息安全的难题，自主研发了覆盖浅海、深海至万米全海深的国产系列化声学释放器及其配套甲板单元，并在千岛湖大型水声通信组网系统、西太平洋深海潜标系统、马里亚纳海沟“天涯号”全海深着陆器回收等多个任务中得到成功应用。其中，研制的全海深型声学释放器是首个国产化全海深声学释放器，

填补了国内全海深释放器自主研制的空白,实现了对国外同类释放器产品的替代,在我国海洋工程仪器国产化进程中起到了很好的示范作用。系列化水下声学释放器的自主研制与示范应用,不仅是提升我国海洋开发能力的关键所在,也是实现海洋强国战略的重要环节。面对未来更加复杂的水下作业场景,将进一步加强极端条件下的可靠性设计,规范测试标准,不断提升声学释放器的产品化和标准化程度,推动我国海洋仪器行业转型升级,促进实现深海关键装备的自主创新和自立自强。

#### 参考文献:

- [1] 周虹丽,高艳波,吴迪,等.我国海洋观测装备“卡脖子”问题的破解对策建议[J]. 科技创新与应用, 2024,14(27):7-10.
- [2] Goossens J, T'Jampens M, Deneudt K, et al. Mooring scientific instruments on the seabed—Design, deployment protocol and performance of a recoverable frame for acoustic receivers[J]. *Methods in Ecology and Evolution*, 2020, 11(8): 974-979.
- [3] 吴双,颜静佳,陈俊吉.声学释放器控制系统在深海潜标中的应用[J].电声技术,2024,48(07).
- [4] Morris R, Hardy K. Selecting an acoustic release for a mooring or lander[C]//OCEANS 2017-Anchorage. IEEE, 2017: 1-5.
- [5] 易秦枫.声学释放器硬件设计与测距技术研究[D].哈尔滨工程大学,2023.
- [6] 刘淞佐,刘亚男,乔钢,等.一种水声通信唤醒信号低功耗实时分段检测方法[P].黑龙江省:CN202011481259.4,2021-03-30.
- [7] 刘亚男.基于 FH-FSK 的声学释放器设计与开发[D].哈尔滨工程大学,2021.
- [8] 陈凯云,许可,赵晓.声学释放器机械释放单元多域物理建模与试验研究[J].黑龙江科技大学学报,2024,34(02):207-215.
- [9] Zhang J C, Ouyang Y J, Gao L S, et al. Design and Implementation of Portable Deck Unit for Deep Water Acoustic Release[C]//2018 OCEANS-MTS/IEEE Kobe Techno-Oceans (OTO). IEEE, 2018: 1-4.
- [10] Cao M C, Gong X D, Zheng Y, et al. Design and Implementation of Signal Transmitting Module for Deck Unit of Acoustic Release System[C]//2021 World Conference on Computing and Communication Technologies (WCCCT). IEEE, 2021: 80-84.

- [11] Liu S Z, Liu Y N, Yang J, et al, "FH-FSK remote control acoustic release system with mechanical push-off mechanism," in Proceedings of the 15th International Conference on Underwater Networks & Systems, 2021, pp. 1-2.
- [12] 刘淞佐,颜宏璐,乔钢,等.一种基于频点存在概率的水下通信节点唤醒信号检测方法[P].黑龙江省:CN202011096358.0,2021-01-12.
- [13] 刘淞佐,韩雪,马璐,等.基于排序码本的水声自适应 OFDM 通信中信道状态信息反馈研究[J].电子与信息学报,2024,46(05):2095-2103.
- [14] Ma L, Li T, Liu S Z, et al. Efficient interpolation based OMP for sparse channel estimation in underwater acoustic OFDM[J]. Applied Acoustics, 2021, 172(1):107606.
- [15] 潘辰宇.深海声学释放器通信算法研究与系统实现[D].哈尔滨工程大学,2021.
- [16] Qiao G, Zhao Y J, Liu S Z, et al. Doppler scale estimation for varied speed mobile frequency-hopped binary frequency-shift keying underwater acoustic communication[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2019, 146(2):998-1004.
- [17] 刘淞佐,乔钢,赵云江,等.一种移动跳频水声通信多普勒因子估计方法[P].黑龙江省:CN201910365873.5,2021-09-28.
- [18] Wang X Y, Lou Z F, Wang Y, et al. An improved acoustic model for mixed lubrication contact interface[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, 2024, 238(4): 414-425.