

## 引文格式:

刘楷, 王宜志, 刘丹, 等. 低功耗海上仪器回收通信信标的研制 [J]. 集成技术, 2021, 10(2): 29-38.

Liu K, Wang YZ, Liu D, et al. Development of low-power communication beacons for marine instruments [J]. Journal of Integration Technology, 2021, 10(2): 29-38.

## 低功耗海上仪器回收通信信标的研制

刘楷<sup>1</sup> 王宜志<sup>1,2</sup> 刘丹<sup>1,2</sup> 黄信锋<sup>1</sup> 吴越楚<sup>1</sup> 杨迪帆<sup>1</sup> 杨挺<sup>1,3,4\*</sup>

<sup>1</sup>(南方科技大学海底地震仪设备与技术工程实验室 深圳 518055)

<sup>2</sup>(哈尔滨工业大学 哈尔滨 150001)

<sup>3</sup>(上海佘山地球物理国家野外科学观测研究站 上海 201600)

<sup>4</sup>(南方海洋科学与工程广东省实验室(广州) 广州 510301)

**摘要** 可靠的回收系统是海洋仪器进行有效观测和获取数据的关键一环, 其中仪器在海面上与科考船之间的通信信标是回收系统中的重要组成部分。该文设计的低功耗海上仪器回收通信信标是一套可用于海洋仪器回收的轻量化信标机——集成了全球定位系统(GPS)定位模块和 Lora 低功耗远距离通信模块, 浮出海面后可自动切换为待机模式。该系统在低功耗待机模式下理论待机时间长达 5 年, 正常工作模式下可连续工作不少于 48 h。仪器上浮后可以将位置信息发送至客户端, 有效通信距离达到 7 km, 并满足 9 000 m 水深的深海适用要求。功耗测试与通信测试表明, 该设备具有功耗低、定位精度高、可靠性高、通信距离较远的优点。

**关键词** 信标; 全球定位系统; 低功耗; 浮出海面检测; 深海适用

中图分类号 TN 962 文献标志码 A doi: 10.12146/j.issn.2095-3135.20201121001

## Development of Low-power Communication Beacons for Marine Instruments

LIU Kai<sup>1</sup> WANG Yizhi<sup>1,2</sup> LIU Dan<sup>1,2</sup> HUANG Xinfeng<sup>1</sup> WU Yuechu<sup>1</sup> YANG Difan<sup>1</sup> YANG Ting<sup>1,3,4\*</sup>

<sup>1</sup>(OBS Laboratory, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China)

<sup>2</sup>(Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

<sup>3</sup>(Shanghai Sheshan National Geophysical Observatory, Shanghai 201600, China)

<sup>4</sup>(Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou), Guangzhou 510301, China)

\*Corresponding Author: tyang@sustech.edu.cn

**Abstract** A reliable recovery system is crucial to marine instruments for effective observations and data

收稿日期: 2020-11-21 修回日期: 2020-12-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(92058209, 41676033); 深圳科创委项目(KQTD20170810111725321, JCYJ20180504170422082, GJHZ20170313101107497); 海底资源勘探与地震观测设备共享服务平台项目

作者简介: 刘楷, 硕士研究生, 研究方向为水声通信; 王宜志, 博士研究生, 研究方向为海底地震观测仪器研制; 刘丹, 博士研究生, 研究方向为海底地震观测仪器研制; 黄信锋, 学士, 研究方向为嵌入式系统开发; 吴越楚, 硕士研究生, 研究方向为海洋地球物理; 杨迪帆, 硕士研究生, 研究方向为水声通信; 杨挺(通讯作者), 教授, 研究方向为被动源海底地震观测及仪器研发, 海洋地球物理学, E-mail: tyang@sustech.edu.cn.

acquisitions. The communication beacon between the instrument on the sea and the scientific research ship is a key part of the recovery system. The low-power marine instrument recovery communication beacon designed in this paper is a set of lightweight beacon machines that can be used for marine instrument recovery. The system integrates a global position system (GPS) positioning module and a Lora low-power long-distance communication module. The system can automatically switch to the standby mode while it float up. The system can work continuously for 48 h. Under the low-power standby mode, the theoretical standby time is over 5 years. Once the instrument floats up, the location information can be sent to the nearby ships. The effective communication distance can reach 7 km. The system can bear the pressure up to 9 000 m water depth. Power consumption test and communication test showed that, the proposed instrument has low power consumption, high positioning accuracy, high reliability, and long communication distance.

**Keywords** beacon; GPS; low consumption; environment detection; suitability of deep sea

**Funding** This work is supported by the National Natural Science Foundation of China (92058209, 41676033), Shenzhen Science and Technology Innovation Commission Project (KQTD20170810111725321, JCYJ20180504170422082, GJHZ20170313101107497), and Equipment and Technology Platform for Marine Resource Exploration & Earthquake Monitorin

## 1 引 言

海洋仪器普遍具有精密度高、价格昂贵和高集成化等特点,需要投入大量的人力、物力进行研发,并且可能涉及到我国海域的重要保密信息,因此回收系统的可靠性对于海洋仪器进行有效观测和获取数据至关重要。以用来记录天然地震信号的被动源海底地震仪(Ocean Bottom Seismograph, OBS)为例<sup>[1]</sup>,在海底长期布放后(一般为12个月),需要对OBS进行回收以获取数据。一般地,声学释放器在海底释放OBS的沉藕架,OBS通过浮力材料获得的浮力上升至海面,之后回收信标开始工作,工作人员获取到信标广播的信息后,再由人工进行海上打捞。

与陆地不同,海洋环境复杂多变,海浪会造成仪器上下起伏与漂移,再加上海面对光线的反射作用严重影响视线,如果没有一种专门用于海洋仪器定位的电子设备,而仅仅使用望远镜等原始工具,然后依靠人类的基本感官进行搜索的话,那么搜索人员的搜索难度可想而知<sup>[2]</sup>。此

时海洋仪器的回收会耗费大量的船时,找寻成本高、搜索时间长,并且还存在着仪器丢失的风险<sup>[3]</sup>。因此,海洋仪器快速、高效、安全的回收成为海洋仪器研发过程中一个亟待解决的关键问题。在海面上,仪器与科考船之间的通信信标是海洋仪器回收系统中的重要辅助设备。目前我国海洋仪器使用的通信信标,主要是从国外进口,存在价格高、技术不可控等问题,所以自主研发一套可靠的海洋仪器回收通信信标的需求越来越高。

本文设计的低功耗海上仪器回收通信信标,具有高可靠性、实用性、低成本等特点。同时考虑到信标的使用成本和适用性,本文设备还采用了低功耗、轻重量、小体积的设计方案。该设备使用时无需连接到整机系统,拥有独立供电系统,单独防水封装外壳,可以有效减少系统负担,提高系统可靠性。使用本文设备时,通过将设备和遥控无人潜水器(Remote Operated Vehicle, ROV)、自主式水下潜器(Autonomous Underwater Vehicle, AUV)或其他海洋设备固定

在一起, 当海洋设备返回水面时, 无线电信标将会自动打开, 获取当前全球定位系统 (Global Position System, GPS) 定位信息, 随后通过 Lora 无线通信模块将定位信息发射出去, 此时打捞人员可以接收 GPS 位置信号, 得到仪器的精确位置, 对仪器进行高效回收<sup>[4]</sup>。本文设备已经通过海试验证了其功能的可靠性, 并在短周期 OBS 的回收应用中, 实现了 100% 回收率。

## 2 仪器回收通信系统研制现状

信标机 (Beacon) 是一种通过特定信号形式提供自身方向或位置信息的设备, 其发射的信号可以是电信号、光信号, 也可以是声信号。信标在航天、航海及航空中的应用非常广泛。目前国外用于船舶航海的指向信标、定向信标等已经非常成熟, 但它们往往不具备轻型化、低功耗和耐海底高压的特性, 不能直接用于海洋仪器的回收中。与之相对地, 新型小体积信标虽然可以耐受海底高压环境, 但它们的功能并不强大, 只有简单的闪光功能, 回收时具有许多不确定性。当前主要有 JOTRON 公司和 MetOcean 公司进行信标的研发设计, 国内尚无市场化自主研发的产品。

### 2.1 船载紧急无线电示位信标

在海洋环境中, 应用最广泛的是船载紧急无线电示位信标 (Emergency Position Indicating Radio Beacon, EPIRB)。EPIRB 是一个可以独立工作的卫星定位信标机, 因其配置了 GPS 定位模块, 故可以快速精准地获取船只或设备位置。当船只因各种原因遇险时, 安装在船只上的 EPIRB 可以漂浮在海面, 并且自动发送 GPS 位置信息给全球海上遇险安全系统 (Global Maritime Distress and Safety System, GMDSS), 之后 GMDSS 获得搜救指令后进行营救安排<sup>[5]</sup>。

国外先进成熟的 EPIRB 制造商有很多, 其中最具有代表性的有挪威 JOTRON 公司的 Tron

60GPS EPIRB, 如图 1 所示。为了保证安全性和稳定性, Tron 60GPS 具有高度集成、可防篡改的功能, 同时还配备了位于天线顶部的高强度 LED, 可以用于夜间指示。电气参数方面, Tron 60GPS 配备 12 V/2 900 mAH 的电池, 拥有 5 年的使用寿命。Tron 60GPS 配备设有手动开启和自动开启两种开启方式。工作时, 可以向全球卫星搜救系统 (COSPAS-SARSAT) 发射电磁波频率为 406.037 MHz、功率为 5 W 的报警信号。



图 1 Tron 60GPS EPIRB

Fig. 1 Tron 60GPS EPIRB

### 2.2 闪光信号灯

另一种是用于海洋装备回收的高亮度闪光信标。该信标配备有高亮度的 LED 闪光灯, 和高强度、抗腐蚀的耐压外壳, 可以在深海环境中使用。当闪光信标到达海面时, 闪光信标会自主打开闪光工作电源, 辐射出一定频率、亮度可调的可见光, 从而帮助仪器打捞人员进行打捞<sup>[6]</sup>。

较具代表性的产品是 MetOcean 公司的 NOVATECH MMF-7500, 如图 2 所示。它是一款适合深海、重量轻、外形小巧、独自供电的设备回收频闪灯。采用纯白色 LED 技术, 可为用户提供一系列的闪烁速度和强度配置选项, 可视距离高达 5 海里。电气参数方面, MMF-7500 由锂电池驱动, 最长待机时间可达 5 年, 一旦浮出海面, 可持续闪烁 5 天, 在低强度模式下最多可以工作 75 天。MMF-7500 外壳配备一个集成的电导率传感器, 该传感器可在浸入水中时隔离设备的电源, 在浮出海面时开启设备并闪光, 从而实现

浮出海面检测的功能。



图 2 MMF-7500

Fig. 2 MMF-7500

进一步地, MetOcean 公司对 MMF-7500 产品进行升级, 即 MMB-7500。MMB-7500 在保留前一代产品全部功能的同时, 还会发射频率为 160 MHz 的无线电信号, 接收人员通过不同方向的信号强度来判断信标的方位<sup>[7]</sup>。

### 2.3 低功耗海上仪器回收通信信标

本文研制的低功耗海上仪器回收通信信标如图 3 所示, 信标外形由高强度的钛合金耐压圆柱外壳构成, 可承受 9 000 m 深海压强; 顶部集成了两颗高亮度 LED 闪光灯, 在海底时信标闪光灯保持关闭, 浮出海面时闪光灯会自动开启闪烁; 配备了 GPS 定位系统来获取仪器的位置信息, 之后通过 Lora 通信模块发射频率为 433 MHz、功率为 1 W 的电磁信号给甲板客户端, 最大通信距离 7 km, 辅助仪器打捞人员; 配备单独的供电系



图 3 低功耗海上仪器回收通信信标

Fig. 3 Low-consumption marine instrument recovery beacon

统, 使用 15 V/2 400 mAH 的电池组, 待机时间为 5 年, 保证了系统的稳定性。

## 3 仪器回收通信信标工作原理与关键技术

### 3.1 系统组成与工作流程

本文设计的无线信标机系统由电源模块、浮出海面检测模块、GPS 接收模块、微控制单元 (Microcontroller Unit, MCU) 信号处理模块、高亮度 LED 灯和 Lora 通信模块<sup>[8]</sup>构成, 具体如图 4 所示。将各模块集成在一个圆柱形钛合金外壳中, 该外壳具备耐高压、耐腐蚀的特性, 使得信标机工作深度达到 9 000 m, 可在全球绝大多数的海域使用<sup>[9]</sup>。甲板接收机由 Lora 通信模块和计算机组成, 计算机配备有 C# 语言编写的上位机软件, 可以解析水下信标机传输回来的位置信息并加以显示。

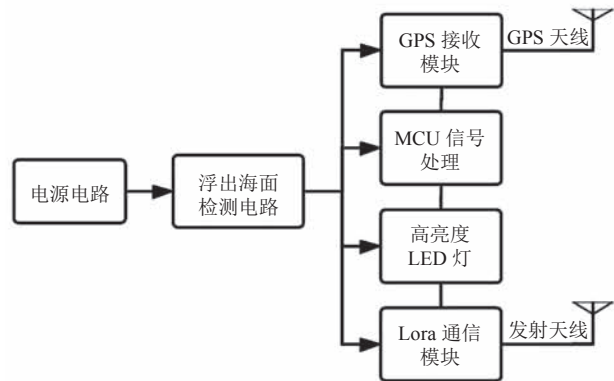


图 4 无线信标机电路组成

Fig. 4 Circuits of wireless beacon machine

无线信标系统工作流程如图 5 所示:

①将本文无线信标机与海洋仪器固定在一起, 随海洋仪器一同投放至海底。其中, 入水前分别对通信系统、LED 灯进行测试与参数设定, 此时信标机处于低功耗待机状态, 产生小于 3  $\mu$ A 的待机电流。

②海洋设备回收时, 信标机随海洋仪器上浮, 其检测电路判断仪器是否已浮上水面, 若是则闭合电源开关, 各个模块上电, 同时初始

化模拟数字转换器 (Analog to Digital Converter, ADC) 和输入输出接口 (Input/Output, I/O) 等。

③GPS 接收模块开始工作, 通过天线接收卫星发送的 GPS 原始数据信息; 同时, MCU 通过光敏电阻的阻值来判断白天黑夜——在夜晚时高亮度 LED 灯闪烁, 白天关闭。

④接收到 GPS 原始信息后, MCU 进行信号处理, 解析出经度、纬度、时间信息, 编码后由 Lora 无线通信模块在特定的频段通过射频天线广播信息, 打捞人员在上位机软件接收到信息后进行精准打捞。

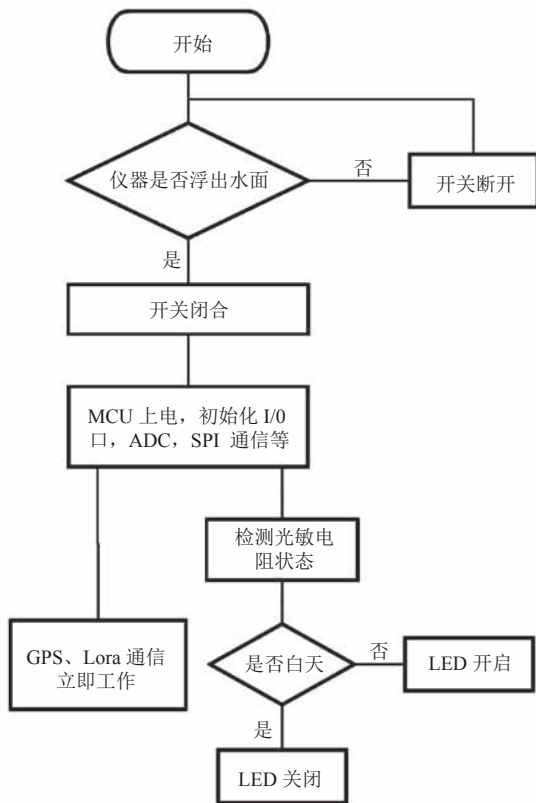


图 5 信标机工作流程

Fig. 5 Workflow of low-consumption beacon

### 3.2 浮出海面检测电路设计

由于海洋设备布放在海底几个月到几年不等, 回收设备时才需要开启本文回收信标, 而且考虑到系统续航的需求, 需要对系统的硬件进行设计, 达到自动开启和关闭设备的目的。本文回收信标设计了一个单独的浮出海面检测电路, 该

电路由限流电阻  $R_1$ 、电压支撑电阻  $R_2$ 、分压电阻  $R_3$ 、海水电阻  $R_4$ 、和电源负载开关 TPS22810 组成, 主要实现对装置是否完全浮上水面的状态进行检测, 电路如图 6 所示。其工作流程为:

①当仪器沉入水下, 海水电阻  $R_4$  短路,  $R_3$  串联  $R_4$ , 然后整体与  $R_2$  并联, 此时得到一个很小的电阻与  $R_1$  进行分压, 所以 A 点分到较小的电压, 电源负载开关断开, 系统处于低功耗待机模式。

②当仪器浮出海面, 电阻  $R_4$  断路, 只剩下电阻  $R_2$  与  $R_1$  分压, A 点分到较高的电压, 开关闭合 MCU 上电系统开始工作, 整个系统开始工作。

③当风浪较大时, 仪器随着海面起伏, 时而浮出海面, 时而被海水淹没, 处理不当将会导致仪器一直进行重启。本文装置加入自动识别系统, 在仪器浮出海面系统上电后, MCU 通过引脚 WTC 输出高电平至 A 点, 维持开关一直处于闭合, 保证系统持续上电 15 min。

### 3.3 低功耗待机技术

本文设计的低功耗待机技术主要由以下电路实现。当系统沉入海水里进入低功耗待机模式时, 海水电阻  $R_4$  的阻值由海水电导率确定。海水的电导率通常是与频率无关的比例常数  $\sigma^{[10]}$ ,

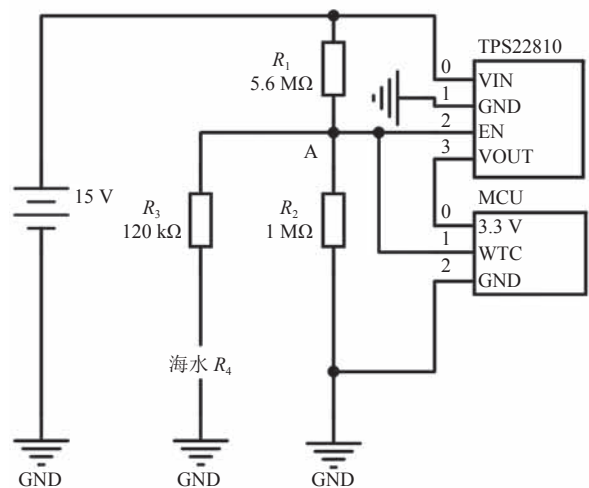


图 6 浮出海面检测电路设计

Fig. 6 Design of environment detection circuit

电导率单位为 S/m, 可以通过化学方法测得。电导率为电阻率的倒数, 常温下均质海水的电阻率约为  $0.3 \Omega\text{m}^{[11]}$ , 所以可以认为  $R_4$  相当于导线, 电阻值为 0。

由于 A 点的分压较小, MCU 尚未开启, 故整个系统的待机电流由检测电路和 TPS22810 组成。对于该检测电路,  $R_2$  和  $R_3$  的并联阻值为  $R_p$ :

$$R_p = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 107.1 \text{ k}\Omega \quad (1)$$

整个检测电路的总阻值为  $R_1 + R_p$ , 则总的待机电流  $I_c$  为:

$$I_c = \frac{V_{cc}}{R_1 + R_3} = 2.63 \mu\text{A} \quad (2)$$

可见, 系统实现了  $3 \mu\text{A}$  级的待机电耗, 满足了水下长时间待机的需求。

### 3.4 远距离通信技术

Lora 是一种 LPWAN 通信技术, 是美国 Semtech 公司采用和推广的一种基于扩频技术的超远距离无线传输方案。该方案改变了以往关于传输距离与功耗的折衷考虑方式, 为用户提供一种简单且能实现远距离、长电池寿命、大容量的通信。Lora 采用自适应数据速率策略, 最大网络优化每一个终端节点的通信数据速率、输出功率、带宽、扩频因子等, 使其接收电流低至  $10 \text{ mA}$ , 休眠电流小于  $200 \text{ nA}$ , 低功耗设计使电池寿命有效延长。Lora 网络工作在非授权的频段, 前期的基础建设和运营成本很低, 终端模块成本约为 5 美元<sup>[12]</sup>。

#### 3.4.1 扩频通信原理

扩频通信的基本理论根据是信息论中的 Shannon 公式:

$$C = B \log_2(1 + S/N) \quad (3)$$

其中,  $C$  为系统信道容量 (bits/s);  $B$  为系统信道带宽;  $N$  为噪声功率;  $S$  为信号功率<sup>[13]</sup>。

Shannon 公式表明了一个系统信道无误差地传输信息的能力与存在于信道中的信噪比 ( $S/N$ ) 以及用

于传输信息的系统信道带宽  $B$  之间的关系。该公式表明: 在一定的信道容量条件下, 可以用增加信道带宽或增加信号功率的办法达到提高信道容量的要求。实际工程中, 信道的噪声功率谱密度  $N$  是不能随意选定的, 可用改变  $B$  值或提供  $S$  值的办法来实现增大信道容量  $C$ 。但是, 如果传输信号的带宽  $B$  变窄, 将导致信号功率  $S$  大幅度地提高, 需要消耗很大的功率能源; 而如果采用增加信号带宽  $B$  来换取信号功率  $S$  减小时, 可以节省很多的信号功率能源。因此, 为了提高信道容量, Lora 采用增加信号带宽  $B$  的扩频调制, 能够有效地提高信号的抗干扰能力, 增加通信距离。

#### 3.4.2 通信距离测算

Lora 使用扩频技术在一个较宽的带宽下发射信号, 从而使信道噪声和由于使用低成本晶振而引起频率偏移对通信系统造成的影响显著降低, 提高了通信系统的鲁棒性。系统的最高接收灵敏度  $P_r$  可以达到  $-136 \text{ dBm}$ , 最大发射功率  $P_t$  只有  $30 \text{ dBm}$  ( $1 \text{ W}$ ), 实现了低功耗状态下远距离的稳定传输<sup>[14]</sup>。

Lora 通信的通信距离与发射功率、接收灵敏度、工作频率有关, 如公式 (4) 所示:

$$L_{os} = 32.44 + 20 \lg(d) + 20 \lg(f) \quad (4)$$

传播损失:

$$L_{os} = P_t - P_r - L_{os_{air}} \quad (5)$$

其中,  $L_{os}$  为传播损失, 单位为 dB;  $d$  为通信距离, 单位是 km;  $f$  为工作频率, 单位是 MHz。本文讨论的 Lora 通信模块, 工作频率处于  $433 \text{ MHz}$  的公共频段, 大气损耗  $L_{os_{air}}$  约为  $57 \text{ dB}$ , 由此可以得到理论通信距离  $d$  为  $15.54 \text{ km}$ 。

## 4 测试及分析

### 4.1 低功耗测试

本文设计的通信信标, 往往需要  $6 \sim 18$  个月的回收周期, 这也对系统的供电系统和低功耗设

计提出了挑战。下面通过理论计算和实际测量的方法分别给出了信标机不同模块的功耗, 计算出系统的工作时间和待机时间。

在工作模式下, 信标机系统的单个工作周期为 2 s。在单个周期中, GPS 与 MCU 需要始终保持工作状态; Lora 通信模块在实测下的发射峰值电流可以达到 75 mA, 其信号发射时间只持续 50 ms; 两个 LED 信号灯闪烁的时间间隔为 1 s (表 1)。

电池使用 5 颗 C217450 串联而成, 额定电压为 3 V, 电池组的额定电压为 15 V, 容量为 2 400 mAh, 电池的转换效率为 90%。

表 1 单个工作周期各模块耗电量

Table 1 Power consumption of each module in one working period

工作模块	工作时间 (s)	理论电流 (mA)	实际电流 (mA)
GPS	2	4.4	15.1
MCU	2	5	15.1
Lora	0.05	66	75
LED	1	66	46.7
水下待机	2	0.0026	0.003

通过计算, 系统单个周期 (2s) 的整体功耗  $P_C$  为:

$$P_C = 15.1 \text{ mA} \times \frac{2}{3600} \text{ H} + 75 \text{ mA} \times \frac{50 \times 10^{-3}}{3600} \text{ H} + 46.7 \text{ mA} \times \frac{1}{3600} \text{ H} \quad (6)$$

单个工作周期的整体功耗  $P_C$  为 0.022 mAh, 在电源转换效率为 90% 时, 系统可以进行定位工作的周期数  $N$  为:

$$N = 2400 \text{ mAh} \times 90\% \div 0.022 \text{ mAh} = 98182 \text{ 次} \quad (7)$$

每个周期持续 2 s, 则整个系统工作时间为 196 364 s, 即在电源充满的情况下, 系统的工作时间为 54.55 h。

在低功耗水下待机模式中, 待机电流为 2.63  $\mu\text{A}$ , 5 年待机时间所需电量为 115.19 mAh, 剩余电量仍可以供系统在工作模式下正常工作 51.64 h。

## 4.2 压力测试

信标外壳主要分为上端盖、下端盖、主腔体、透光柱 4 个部分。其中, 上端盖、下端盖、主腔体选择耐腐蚀性钛合金 TC4 材质, 相对于常见抗腐蚀材料 316 不锈钢、双相不锈钢等, 钛合金拥有更高的强重比, 性能更加稳定。信标整体采用圆筒形设计, 在径向上受力更为均匀, 耐压性能更好, 并且圆筒形设计可以减小上浮过程中的阻力。与上端盖配合的透光柱配备 LED 频闪窗口, 采用高强度聚碳酸材料制成, 为抵抗超过 90 MPa 的压力, 内部采用增强结构。上下端盖与主腔体之间采用 O 型密封圈密封手段, 有效工作水深为 9 000 m。外壳整体通过打压测试, 可以在 99 MPa 的环境下保证结构正常, 适用于 9 000 m 水深 (图 7)。



图 7 压力测试

Fig. 7 Pressure test

## 4.3 通信距离测试

为了尽量模拟实际海洋界面情况, 信标机选择在广东省深圳市深圳湾海域进行了实地通信距离测试 (图 8 和图 9)。将接收机固定在深圳湾公园岸边, 信标发射机从距离接收机 3 km 处每隔 1 km 进行一次收发。接收机和发射机使用发射功率分别为 22 dBm 和 30 dBm 两个通信模块进行

测试,结果表明两台通信信标机都通过了 7 km 的收发测试,高于 MMB-7500 的最大通信距离 5 km。这得益于扩频通信的稳定性,同时还表现出了一定的抗干扰能力。经过分析,在海洋环境中受天气、海洋界面、仪器起伏的影响,电磁波的传播路径和衰减强度可能会与陆地不同,受条件限制本文此次并没有在海洋进行通信信号强度测试。在发射功率为 30 dBm 时,实际通信距离小于理论通信距离,而根据经验,将信标最大通信距离的指标定为 7 km,已经优于同类产品,



图 8 通信距离测试

Fig. 8 Communication distance test



图 9 上位机界面

Fig. 9 UI for upper computer

同时安全系数更高。卫星定位方面,在大洋中单独测试 GPS 模块,晴朗天气状况下搜索到有效卫星个数稳定在 12~13 颗,可保证定位准确。需要说明的是,信标使用环境应尽量避免雷雨天气,使用时环境不得大于 4 级海况,否则会影响 GPS 信号接收,造成通信信号不稳定。

## 5 讨论与分析

由于在海上仪器回收信标的研制技术上,国外对国内有不同程度的技术封锁,使用“海上仪器回收信标”、“Communication beacons for marine instrument”关键词,在“中国知网”、“万方”等多个数据库进行检索,没有查到较新的非商业化产品,故选择上文中提到的主流产品级设备对比,具体如表 2 所示。Tron 60GPS EPIRB 的优点是采用卫星定位和卫星通信的回收方式,通信距离不受限制,定位精度可以达到几十米<sup>[15]</sup>,但这也造成了通信系统复杂,需要通过卫星进行通信,需要仪器-卫星-陆地中心-打捞船舶一系列复杂的调度,不适合海洋仪器回收的使用;MMF-7500 和 MMB-7500 的优势在于其深海的适用性,且结构简单,缺点是其并没有卫星定位来辅助回收,回收精度不高。

本文设计的仪器回收信标具备 MMF-7500 和 MMB-7500 低成本、小尺寸、高深度范围的特性,同时又具备 Tron 60GPS 高可靠性的优点。与 MMF-7500 对比,本文信标使用深度达 9 000 m,这也就使得其耐压外壳壁厚变厚,重量略高;与 Tron 60GPS 相比,两者均采用卫星定位的方式进行定位,而通信方式略有不同,本文信标的优势在于没有采用复杂的卫星通信,而是使用基于扩频通信的 Lora 无线通信,其通信系统简单、收发设备技术成熟、成本低。通过测试与分析,本文信标的通信距离达 7 km,能够满足海洋仪器回收的需要,且优于 MMB-7500。这些优点



表 2 国内外信标参数

Table 2 Parameters of domestic and foreign beacon

信标型号	信标参数									
	使用深度 (m)	待机时间(年)	尺寸 (mm×mm)	重量 (g)	发射频率 (MHz)	定位方式	通信距离(km)	闪光灯	浮出海面检测	成本 (Yuan)
Tron 60GPS <sup>[16]</sup>	海面	5	340×128	680	406.37	通信卫星 (Iridium satellite)	无限制	有	无	>20 000
MMF-7500 <sup>[17]</sup>	7 500	5	381×29	660	无发射功能	无	无	有	有	>10 000
MMB-7500 <sup>[18]</sup>	7 500	5	539×29	680	160	方向指示 (无坐标定位)	5	有	有	>10 000
本文设计信标	9 000	5	420×30	770	433	卫星定位 (GPS, 北斗坐标)	7	有	有	>8 000

为大规模应用到海洋设备回收提供了保证, 应用前景广泛。

## 6 总 结

本文介绍了自主设计的低功耗海上仪器回收通信信标, 并对其系统组成和工作原理进行了讨论。参考多种信标机的功能特性, 针对海洋仪器回收过程中视线受到干扰以及海洋环境恶劣的特点, 创新性地采用了 GPS 定位和 Lora 无线通信结合的设计方案, 快速精准定位仪器所处位置。同时, 为了保证信标与海洋仪器的适配性, 本文信标采用了小体积的机械设计和高强度的钛合金耐压外壳, 适用水深可达 9 000 m。低功耗测试、通信距离测试和实际海试表明, 该通信信标供电系统可保证低功耗待机 5 年, 连续工作不少于 48 h, 海上通信距离测试 7 km, 通信稳定性和定位准确性完全满足海洋仪器回收需求, 为我国海洋科学仪器的回收提供了新的保障。

## 参 考 文 献

- [1] 刘晨光, 华清峰, 裴彦良, 等. 南海海底天然地震台阵观测实验及其数据质量分析 [J]. 科学通报, 2014, 59(16): 1542-1552.  
Liu CG, Hua QF, Pei YL, et al. Passive-source ocean bottom seismograph (OBS) array experiment in South China Sea and data quality analyses [J]. Chinese Science Bulletin, 2014, 59(16): 1542-1552.
- [2] 李俊. PSK 调制方式的无线信标机关键技术研究 [D]. 太原: 中北大学, 2012.  
Li J. Study of wireless beacon key technologies based on PSK modulation [D]. Taiyuan: North University of China, 2012.
- [3] 张美燕, 周莉萍, 彭学虎. 基于北斗卫星通信与定位的深海回收信标机研制 [J]. 浙江水利水电学院学报, 2016, 28(4): 71-75.  
Zhang MY, Zhou LP, Peng XH. Deep sea recovery beacon system based on beidou satellite communication and positioning [J]. Journal of Zhejiang University of Water Resources and Electric Power, 2016, 28(4): 71-75.
- [4] 洪泽. GPS 技术在海洋测绘中的运用效果研究 [J]. 科技创新与应用, 2020(8): 168-169.  
Hong Z. Application effect of GPS technology in marine surveying and mapping [J]. Technology Innovation and Application, 2020(8): 168-169.
- [5] Frith J. Safety and survival electronics portfolio [J]. Maritime Journal, 2017(348): 24-24.
- [6] 周光辉. 深海设备回收无线信标机研制 [D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2013.  
Zhou GH. Research on beacon machine for the retrieve of deep sea equipment [D]. Hangzhou: Hangzhou Dianzi University, 2013.
- [7] 王立波, 王永生, 李正. 船载应急无线示位标 (EPIRB)设计研究 [J]. 电子技术应用, 2005, 31(4): 58-60.  
Wang LB, Wang YS, Li Z. Research on design

- of shipborne emergency wireless position indicator(EPIRB) [J]. *Application of Electronic Technique*, 2005, 31(4): 58-60.
- [8] 冯志涛, 李家军, 贾立双, 等. 基于北斗定位导航系统的水下监测平台出水报警定位信标机设计与实现 [J]. *海洋技术学报*, 2019, 38(2): 49-54.  
Feng ZT, Li JJ, Jia LS, et al. Design and implementation of a positioning and alarm beacon for underwater monitoring platforms based on the Beidou positioning and navigation system [J]. *Journal of Ocean Technology*, 2019, 38(2): 49-54.
- [9] 景鹏飞, 谢阳紫, 董鑫, 等. 深冷压力容器应变强化过程数值分析 [J]. *当代化工*, 2020, 49(10): 2347-2350, 2354.  
Jing PF, Xie YZ, Dong X, et al. Numerical analysis of strain strengthening process of cryogenic pressure vessel [J]. *Contemporary Chemical Industry*, 2020, 49(10): 2347-2350, 2354.
- [10] Tyler RH, Boyer TP, Minami T, et al. Electrical conductivity of the global ocean [J]. *Earth, Planets and Space*, 2017, 69: 156.
- [11] Da Cruz Luz E, Cícero Roberto Teixeira R. Influence of sea water resistivity on MCSEM data [J]. *Revista Brasileira de Geofísica*, 2009, 27(3): 349-356.
- [12] 赵静, 苏光添. LoRa 无线网络技术分析 [J]. *移动通信*, 2016, 40(21): 50-57.  
Zhao J, Su GT. Analysis on LoRa wireless network technology [J]. *Mobile Communications*, 2016, 40(21): 50-57.
- [13] 王玉德, 王金新. 基于 MATLAB 的跳频扩频通信系统的仿真研究 [J]. *通信技术*, 2010, 43(6): 21-23.  
Wang YD, Wang JX. MATLAB-based simulation on frequency-hopping spread spectrum communication system [J]. *Communications Technology*, 2010, 43(6): 21-23.
- [14] 资文彬, 董楚楚, 曹康. LoRa 无线数据传输模块的设计与实现 [J]. *集成技术*, 2018, 7(3): 54-61.  
Zi WB, Dong CC, Cao K. Design and implementation of wireless data transmission module based on LoRa [J]. *Journal of Integration Technology*, 2018, 7(3): 54-61.
- [15] 王海员, 于卫东, 李奎平, 等. 一种海洋潜标适用的新型 GPS 信标机 [J]. *海岸工程*, 2011, 30(3): 66-73.  
Wang HY, Yu WD, Li KP. A new GPS beacon designed for ocean subsurface moorings [J]. *Coastal Engineering*, 2011, 30(3): 66-73.
- [16] JOTRON. Tron 60GPS EPIRB with manual bracket [EB/OL]. 2020-02-14[2021-02-01]. <https://jotron.com/product/tron-60gps-with-manual-bracket/>.
- [17] metOcean telematics. MMF-7500 Brochure [EB/OL]. 2017-09 [2021-02-01]. <https://www.metocan.com/product/mmf-7500#tab-1>.
- [18] metOcean telematics. MMB-7500 Brochure [EB/OL]. 2017-09[2021-02-01]. <https://www.metocan.com/product/mmb-7500#tab-1>.