

# 船基系留气球 AIS 数据采集系统设计 设计与实现

武宏勋<sup>1,2</sup>, 黄宛宁<sup>1</sup>, 苗景刚<sup>1</sup>, 申戈<sup>1</sup>

(1. 中国科学院空天信息创新研究院, 北京 100094;

2. 中国科学院大学航空宇航学院, 北京 100049)

**摘要:** 船舶自动识别系统可以为发展高频地波雷达技术提供验证数据集; 目前, 现有手段为 HFSWR 提供的数据集存在实时性差以及仅能对小范围内的船只进行跟踪观测等缺点, 针对该问题, 设计了一套船基球载 AIS 数据采集系统, 利用系留球搭载 AIS 接收机进行多次海上长时间驻空实验, 期间获取了来自 345 条船只的 270 580 条数据; 结果表明: 船基球载 AIS 接收机这一方式能够显著提高船只之间 AIS 信息的接收距离, 当系留球锚泊在 150 m 高空时, 系统的 AIS 信息接收距离能够达到 244 km; 并验证了 AIS 海上传播模型的准确性; 船基球载 AIS 数据采集系统可实现长期高空驻留, 所获取的周边海域船只的 AIS 信息数据范围广, 实时性高, 漏报率低, 是对船基 HFSWR 性能进行评估的有效手段。

**关键词:** 船舶自动识别系统; 船基系留气球; 通信距离; 高频地波雷达; 评估

## Design and Implementation of AIS Data Acquisition System for Ship-based Tethered Balloons

WU Hongxun<sup>1,2</sup>, HUANG Wanning<sup>1</sup>, MIAO Jinggang<sup>1</sup>, SHEN Ge<sup>1</sup>

(1. Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;

2. School of Aeronautics and Astronautics, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The Automatic Identification System (AIS) for the development of high Frequency Surface Wave Radar (HFSWR) technology can provide verification data sets; At present, existing means for HFSWR to provide data sets have shortcomings of poor real-time, and tracking and observing ships in a small range. In view of this problem, a set of ship-based ball on-board AIS data acquisition system is designed, and multiple long-term air-dwelling experiments at sea are carried out using tethered balls and AIS receivers, during which 270, 580 pieces of data from 345 ships are obtained; The results show that the receiver on board the ship-based ball can significantly improve the receiving distance of AIS information between ships, and when the tether ball is anchored at a height of 150 m, the AIS information receiving distance of the system can reach 244 km. The accuracy of the AIS maritime propagation model is verified; The ship-based ball-mounted AIS data acquisition system can realize long-term high-altitude residence, and the obtained AIS information data of the vessels in the surrounding sea areas is wide-ranging, high in real-time, and low in under-alarm rate, which is an effective means to evaluate the performance of ship-based HFSWR.

**Keywords:** AIS; ship-based tethered balloons; communication distance; HFSWR; estimation

## 0 引言

我国是个海洋大国, 海洋在带来丰富资源的同时, 也给我们带来了海洋监控方面的巨大挑战。高频地波雷达 (HFSWR, high frequency surface wave radar) 是一种探测海面和低空目标的技术手段, 既可以实现对静止目标的持续监测, 又可以跟踪运动的目标, 通过分析回传的信号, 来得到距离、位置以及船只航行的方向和速度、甚至是其大小及形状<sup>[1]</sup>。

船舶自动识别系统 (AIS, auto identification system)

是一种船舶通信导航系统。航向的船只通过配备的 AIS 设备, 来主动向外界广播带有本船呼号、船名的航行信息 (包括目前所在经纬度、航向方向及速度等)。以及航次相关信息和安全信息<sup>[2]</sup>。AIS 具有受位置、天气影响小, 导航精度高的优点<sup>[3-5]</sup>, 利用 AIS 可以对船只等目标进行长时间的持续跟踪监测<sup>[6]</sup>。

AIS 可以作为发展 HFSWR 技术的评估手段和验证工具<sup>[7]</sup>, 目前提供 AIS 数据的方式有两种, 一种是靠船载 AIS 设备接收 AIS 数据, 虽然能够为 HFSWR 提供实时的船舶

收稿日期: 2022-06-21; 修回日期: 2022-07-31。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61733017); 中国科学院战略性先导专项 (XDA17020203)。

作者简介: 武宏勋 (1998-), 男, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要从事浮空器组网、通信网络仿真方向的研究。

通讯作者: 黄宛宁 (1980-), 男, 河南南阳人, 硕士, 高级工程师, 主要从事浮空器组网通信方向的研究。

引用格式: 武宏勋, 黄宛宁, 苗景刚, 等. 船基系留气球 AIS 数据采集系统设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(4): 167-173.

信息,但由于其天线架设高度(约 15 m)以及设备自身的限制,仅能接收到较近范围内船只发来的 AIS 报文;另一种是利用星载 AIS 来获取船舶信息,目前应用的多是低轨卫星平台,受限于过境时间,不能为 HFSWR 提供长时间的实时船舶信息<sup>[8]</sup>。

系留气球是一种定点驻空观测平台,具有载重量大、驻空时间长、使用效费比高、保障要求低的特点,通过在船基系留气球上搭载 AIS 接收设备,可以实现对附近较广海域船只的持续监测。

本文根据 HFSWR 的性能评估需求,设计了基于船载系留气球平台的 AIS 数据采集系统,通过海上试验获取了大量的 AIS 实测数据,经过对这些数据进行解码和分析,该系统具有接收数据范围广,实时性高,漏报率低等优点,达到了设计目标。

## 1 船基系留气球平台

系留气球主要包括气球本体、系缆、锚泊系统 3 部分。气球通过将内部的软式气囊中充入氦气或氢气来产生浮力,从而实现在空中驻留。气球上搭载电子通信设备来为预警雷达、各种相机提供数据通信服务,以实现区域的监视探测等目标。系缆可以承受高强度的拉力,以实现约束气球驻留在目标高度,大多数系缆内部有电线与光纤,前者可以为气球的艇载计算机以及搭载的雷达、相机等载荷设备供电,后者以实现艇载计算机与地面设备之间高速的信息传输,如相机拍摄到的实时画面、各类传感器采集的数据、雷达收到的实时信息以及地面的遥控指令等。系缆内部的电线保证了地面的电能能够源源不断地供给给正在高空驻留的系留气球,因此使得其能够摆脱能源的限制,实现长时间持续驻留<sup>[9]</sup>。锚泊系统配备有电机驱动的绞盘,可实现自动收放系缆。通过控制电机,便可实现对系留气球驻空高度的调整以及发放与回收。此外,锚泊系统可以通过手动控制,以应对如通信中断、设备失控等突发情况。系留气球的优点除了任务载荷可按需灵活搭载,其布设平台的弹性也很大,在陆地、船舶上都可布放<sup>[10]</sup>。

船基系留气球是一种装载在舰船上,可集成光电/红外传感器、雷达等任务载荷的系留气球。其驻空时间长、探测范围广、部署方便、使用效费比高,能广泛应用于 360 度全方位持续侦察监视,是执行来往船只跟踪、重点海域巡查和环境监测等任务的特种装备<sup>[11]</sup>。

船基球载 AIS 系统的主要优势包括:

1) 适合机动部署,便于运输,700 吨以上的船只即可装载下整套系统。

2) 操作简单便捷,拥有电源、网络、通信等标准化接口,设备完全实现了模块化组装,普通人员经过简单培训即可完成操作。

3) 架设快速,部署灵活,系统充气完成后,可在 15 min 内升空至最高 300 m 高度,进入工作状态,能够满足多种场景的应用需求。

4) 系统扩展性极强,球载吊舱内为任务载荷预留了安装空间,预留有任务载荷的供电接口和光纤接口,且可根据不同载荷的结构和电气特点,进行整合设计,形成快速切换方案,满足不同载荷设备的集成和适配需求。

5) 在设计过程中,系统充分考虑了高低温、振动、防水、防尘、系留线缆抗拉力等因素影响,覆盖范围灵活可调,用户能够根据保障需求和应用场景自由改变升空高度,环境适应性强,能够满足各类海上预警监视,应急通信,中继通信等需求。

6) 续航时间和滞空工作时间超长,通过系留线缆可以确保电源供应和数据传输不间断;系统采用工业用电或发电机供电,在地面供电不中断的情况下,系留气球平台能够长时间在空中飞行,具备超长的续航能力,能够 24 h 不间断空中作业,满足了长时间工作的场景需求。

7) 与系留无人机相比,系留气球系统因为不需要飞行动力系统,系统功耗低,噪音小,可靠性高,更适合长时间驻空飞行。

8) 系统的最大升限为 300 m,可在 5~300 m 之间可任意调节高度。在不同高度工作时,收放缆等性能均能支持系统长时间高可靠运行,保证产品能够灵活适应不同的工作高度场景。

9) 载重量大,30 kg 的净载重能力(不含系留线缆及备用电池)可确保系统能够适配基站设备、通信中继等多种任务载荷,形成不同行业的应用解决方案。

国外方面,美国最早开展了船载系留气球领域的研究<sup>[12-13]</sup>,并一直处于国际领先地位,比较著名的是美国海军空中中继系统 MARTS,它是一种系留气球通信中继系统,主要用于保持美国海军陆战队与指挥中心之间的通信联系。MARTS 所采用的是 TCOM 的海用系留气球,长 32 米,体积 1 800 m<sup>3</sup>,有效载荷 275 kg,升空高度 900 m,正常工作抗风能力达到 80 km/h。该系统还能够有效的监测海上目标,并形成空中和海面预警,同时也可携带相关专用载荷用以反潜。洛克希德马丁公司的 56 K 系留平台也在海上多次开展了探测和监视任务,气球长度 33.4 m,体积 1 600 m<sup>3</sup>,有效载荷 225 kg,升空高度 760 m。该系统可作为海上雷达站,对低空飞机、和用于突防的巡航导弹开展俯视侦察。

美国海岸警卫队(USCG)MIST(移动拦截与侦察)系统基于 TCOM 的船基系留气球,从 20 世纪 80 年代开始用于进行东南沿海毒贩和非法移民的监控。在检测到可能的威胁后,信息将传至巡逻队进行确认和拦截。使用该系统后,非法海事活动明显下降。

美国海军还曾使用双体高速运输舰“雨燕”号(HSV 2),搭载 TIF-25K 型系留气球开展了代号为“Martillo”的军事行动,目的在于在海上打击有组织的跨国犯罪。

国内方面,中国科学院空天信息创新研究院近些年多次赴西沙、南沙、舟山、三亚、青岛公海开展船载系留气球作业,主要用途为科学考察,海上应急通信试验,非法

越界船只监控试验等, 填补了我国船基系留气球应用空白, 见图 1。



图 1 中科院空天院的船载系留气球系统

本次试验的 AIS 数据采集系统系留气球平台采用了体积为 150 m<sup>3</sup> 的 KX15 小型系留气球作为升空载体, 其船载型主要特点为主要的锚泊装置, 包括侧臂、侧绞盘、鼻塔、鼻栓、鼻绞盘、液压系统、电滑环、电气控制系统、操作系统、缆绳防护装置、导线轮装置及其他辅助装置全部集成在一个 20 GP 的标准集装箱内, 便于在船上安装部署及转运。

其主要性能指标如表 1 所示。KX15 型系留气球已经在陆地车载、海岛和舰船上完成过十几次飞行任务, 技术状态成熟可靠。

表 1 船载系留气球性能指标

序号	性能项目	描述
1	升空高度	>300 m
2	有效载荷	最大 30 kg
3	气球升降速度	0~50 m/min
4	升空时间	≤10 min
5	最大抗风	锚泊状态: 18 m/s
		系留状态: 15 m/s

## 2 AIS 数据采集系统设计

AIS 采集系统由接收 AIS 信号的球载吊舱 (包括 AIS 接收机、测控计算机、球载光端机), 用于处理和转发 AIS 报文的地面光端机、地面任务处理计算机、交换机及用于和 HFSR 共享 AIS 信息的数据融合处理计算机组成<sup>[14-16]</sup>, 如图 2 所示。

AIS 接收机安装在系留气球吊舱内部, 天线装在吊舱下部无遮挡的位置。接收到的 AIS 信号经解调转换为数字信号后, 通过网口发送给球载光端机。球载光端机将数字信号转换为光信号, 经过主系缆中的光纤上传给地面光端机, 后者还原为数字信号, 经 RJ45 网口传输给地面任务处理计算机。地面 AIS 数据采集软件接收到数据后, 进行解码, 显示, 存储等操作。球载的 AIS 数据信息同时也发送了一份给数据融合处理计算机, 用于船载 HFSWR 探测信息的融合和比对。

球载 AIS 接收机用于接收海上船舶发出的 AIS 信息并解调为数字报文, 而 AIS 数据采集软件则是对所收的 AIS

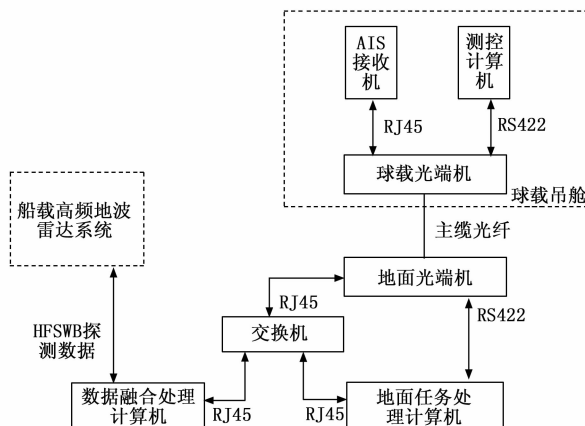


图 2 AIS 数据采集系统硬件连接图

报文进行解码, 显示, 存储等, 以下对这两部分内容进行详细介绍。

### 2.1 AIS 接收机

AIS 接收机模块的设计, 依照 ITU-R M.1371-4 建议书标准<sup>[17]</sup>, 射频接收频率覆盖 156.025~162.025 MHz, 信道间隔 25 kHz, 编码方式采用 NRZI, 调制方式为半双工 GMSK/FM。整个接收过程的原理如图 3 所示, 采用标准的双信道接收工作模式: AIS 1 (信道 87B, 161.975 MHz), AIS 2 (信道 88B, 162.025 MHz)。因此 AIS 接收机模块内部包含两套 TDMA 接收通道, 信道接入在两个并列信道上各自独立进行的。两条接收链路, 在 IF 之前共用天线、低通滤波、I 级声表带通滤波、低噪放、II 级声表带通滤波等射频单元, IF 之后则单独使用各自的频率综合单元、混频器, 转换为基带信号后各自解调解码, 获得两路接收的报文。

基带处理后的 AIS 报文, 将通过网络接口以 TCP 协议发送到上位机中。

AIS 接收机的性能参数如下所示:

- 1) 最大功耗 < 5 W;
- 2) 接收灵敏度: 优于 -112 dBm;
- 3) 天线典型驻波比: 1.2: 1 @ 156.8 MHz;
- 4) 天线极化方式: 垂直极化;
- 5) 天线方向性: 全向;
- 6) 天线增益: 3 dBi。

### 2.2 AIS 数据采集软件

数据采集软件的主要功能是解码收到的 AIS 报文, 并将主要的信息显示在前面板上并存储。

AIS 语句由语句起始符 (“\$” 或 “!”) 起始, 用 “,” 将语句各部分分隔开, 以语句结束符 (<CR><LF>) 结束, 语句的长度不是固定的, 最大长度为 82 个字符, 超过此长度则将该语句分割成几个语句进行传输。

AIS 电文分为明码和暗码两类。明码以 “\$” 开头, 明码报文内容可以直接读取。暗码以 “!” 开头, 报文内容需要通过字符转换和格式定义才能读出。AIS 暗码是经过封

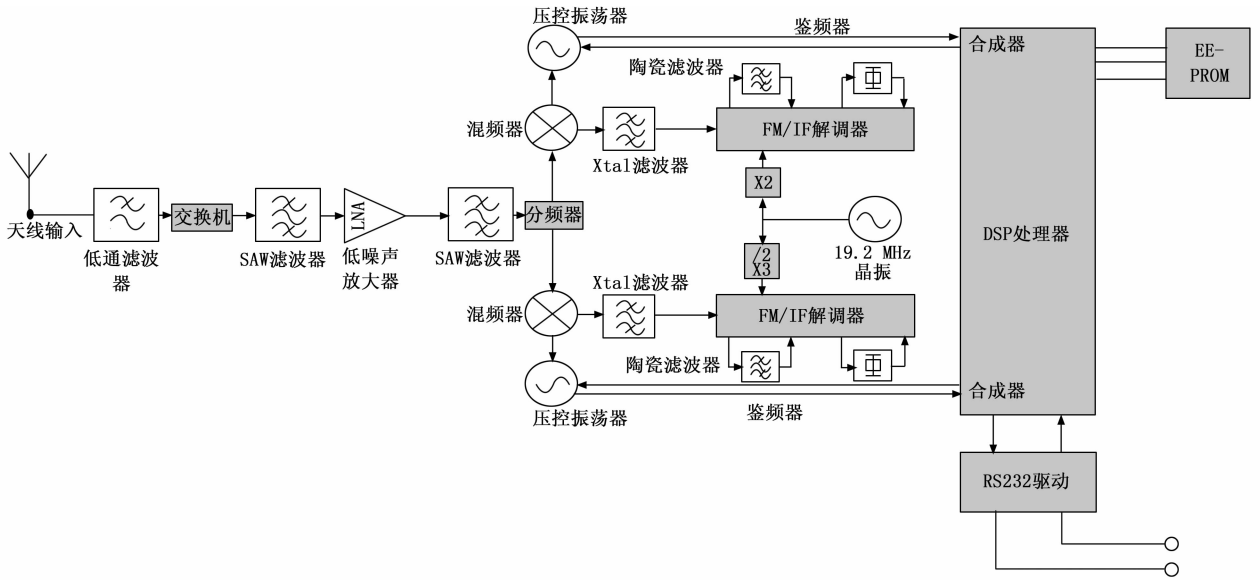


图 3 AIS 接收机模块原理框图

装的语句，以压缩封装的方式传输信息，主要用于高速传输大量信息的场景。海上船舶发送的 AIS 报文为暗码。故本文主要针对 AIS 暗码进行解码工作。

AIS 报文的暗码数据格式为: ! XXYYY, A, B, C, N, Data, V \* HH, <CR><LR>。

各字段的含义如表 2 所示。

表 2 AIS 报文的暗码中各字段含义

字段	名称	字段	名称
!	语句起始符	N	AIS 信道标识
XXYYY	地址域	Data	数据块
A	消息分解总数	V	填充位域
B	语句序号	* HH	检查和域
C	连续消息标识符	<CR><LR>	语句结束符

AIS 报文从整体上采用了 IEC61162-1 规范标准，而在其 Data 部分，则使用了压缩 6 bit 的方式。之所以采用内外两层协议是因为既保证了报文协议的兼容性，又实现了比 8 bit 的 ASCII 字符更简练的编码方式，从而保证了数据的传输速度。对于有效字符至二进制码地转换可以参看图 4，通过对读进来的 Data 字符串长度的判断来执行加 40 或加 32 的操作，最后取其低六位即是所得的二进制码，再按顺序保存到 8 bit 字节串中，最后按照 AIS 标准协议从 8 bit 字节串中提取相应的信息<sup>[15]</sup>。

系统整体如图 5 所示，整个系统分为 TCP 数据读取模块、报文拼接模块、数据存储模块、参数解码模块、解码数据存储模块、参数显示模块以及地图绘制模块七大模块。当 TCP 数据读取模块读取到数据之后，对数据进行拼接操作，然后进入系统的核心模块—参数解码模块，得到船只的各类信息，最后把解码出来的信息进行显示和绘制在地图上。

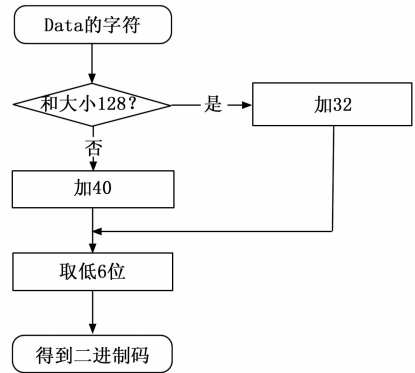


图 4 有效字符至二进制码转换流程

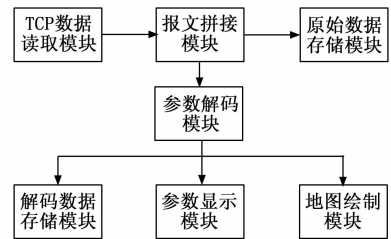


图 5 AIS 采集软件系统框图

Labview 的 TCP 协议中对于 TCP 消息的读取动作有 4 种模式分别为：“standard”、“buffered”、“CRLF”以及“Immediate”。其中“CRLF”模式下，模块等待直到读取字节中指定的所有字节到达，或直至函数在读取字节指定的字节数内接收到 CR（回车）加上 LF（换行）或超时毫秒用完。该函数可返回所有的字节，包括 CR 和 LF。符合 AIS 报文的数据格式，故采用“CRLF”模式进行 TCP 数据的读取。

成功读取 TCP 报文后，则进入报文的拼接流程见图 6。

收到报文之后, 首先提取报文中的“消息分解总数”, 来判断收到的报文是否为连续报文, 如果是, 提取“连续消息标识符”来判断当前报文是否与前面的报文为同一连续语句, 提取报文中的“语句序号”, 判断其是否为当前进行的连续报文的最后一条, 如果是, 则把内存中前面拼接的报文与当前的拼接, 并取出, 否则只进行与内存中未完成拼接的报文进行拼接。提供此模块, 最终将得到拼接完整的报文。

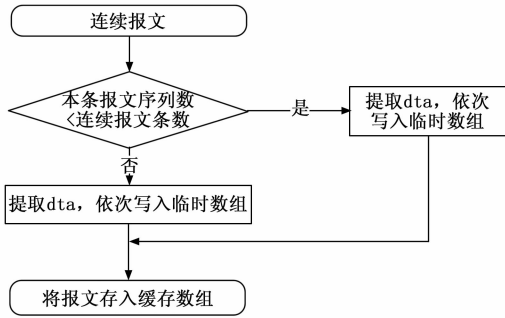


图 6 报文拼接流程

拼接好的报文送到参数解码模块, 参数解码模块根据消息类型, 依据 ITU-R M. 1371-5 建议书 (02/2014) 中消息的规定, 将报文中指定的起止位置的二进制码提取出来, 转换为十进制的 ascii 码, 然后再将其转换为对应的含义。提供此模块将从报文中解码出船舶报告的不同参数, 得到船舶的航速、航向、目的地、经纬度等信息。接下来, 将解码好的参数加上制表符 (方便后续数据处理) 一并存储到本地。与此同时, 如图 7 所示, 将解码出船舶报告的自身经纬度数据送入地图绘制模块, 首先通过判断船舶的 MMSI 编号, 来判断数据库中是否已经建立该船的信息条目, 如果有, 则对此船对于的条目进行更新操作, 否则创建该船的条目, 并将当前的信息写入其中。最后显示模块根据当前数据库中的信息, 将收到的所有船舶的简要信息, 如 MMSI 编号、船舶呼号、船舶经纬度、航向、航速、航向目的地等信息以表格的形式简要地显示在前端的面板上, 以方便工作人员对目前海域地船只实时信息进行快速地浏览。

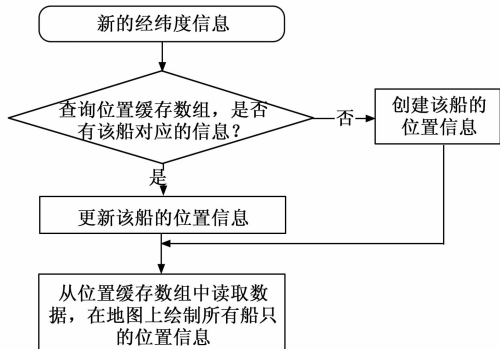


图 7 地图绘制流程

### 3 实验结果与分析

#### 3.1 理论预期值

根据史长珍<sup>[5]</sup>、刘媛美<sup>[20]</sup>、邓祝森<sup>[21]</sup>提出的海上信道模型, 可以得到关于传输路径损耗的两个公式, 根据这两个公式可以求得发射机与接收机之间的最大距离。公式 (1) 是由系统的船载 AIS 发射功率、球载 AIS 接收机接收灵敏度、天线增益和馈线损耗等决定的链路损耗, 其中:

$$L_{path} = P_T - L_B + G_T + G_R - L_R - P_R \quad (1)$$

式中,  $L_{path}$  为链路损耗,  $P_T$  为船载 AIS 设备的发射功率;  $L_B$  为船载 AIS 馈线损耗;  $G_T$  为船载 AIS 天线增益;  $G_R$  为球载 AIS 接收机天线增益;  $L_R$  为球载 AIS 接收机馈线损耗;  $P_R$  为球载 AIS 接收机接收灵敏度。

对于 A 类船载 AIS 设备来说, 功率为 12.5 W, 相当于有 40.98 dBm 的输出, 天线增益为 6 dBi, 线损和接头插损大约为 2 dBm; 对于球载 AIS 来说, 天线增益取 3 dBi, 线损和接头插损取 2 dBm, 接收灵敏度取 -112 dBm 来进行计算。

$$L_{path} = 120 + 40 \log d - 20 \log h_t \cdot h_r + 20 \log \left( \frac{f}{40} \right) \quad (2)$$

式中,  $d$  为目标船只距离母舰距离 (km);  $h_t$  为船载 AIS 天线的高度 (m);  $h_r$  为球载 AIS 天线的高度 (m);  $f$  为载波频率 (MHz)。

根据实验的情况, 假设被测船载 AIS 天线高度为 15~20 m, 发射信号的频率为 162 MHz 左右。将上述数据代入式 (2) 计算可得表 3。

表 3 AIS 接收机升空高度与对应的接收距离

升空高度/m	接收距离/km	升空高度/m	接收距离/km
100	171~197	200	242~279
150	209~242	300	296~342

#### 3.2 实验实测数据与分析

本文中, 选取 2022 年二月下旬在青岛大公岛附近海域的试验数据进行分析。本次出海试验为期三天, KX15 系留气球系统搭载向阳红 9 号科考船开展海上试验, 试验示意图见图 8。在试验中, AIS 采集系统收到了海量的实时数据, 同时船载 HFSWR 也开机对周边海域船只进行多次航迹跟踪试验。

系统的主要工作流程主要分为部署和准备阶段和升空作业两个阶段。

在部署和准备阶段首先要将锚泊集装箱吊装到甲板上, 固定好箱角。氦气储装置放在船上, 确定好安放位置后, 进行两级固定。然后进行系留气球, 氦气存储装置, 锚泊设施、载荷设备的状态检查和单机功能测试。确认无误后可进行设备联合测试, 确认供电和光路通信均正常。

系统状态检查完毕可以进行出海作业。在到达制定海域后, 可进行系留气球充气 and 升空操作, 根据需要驻空在一定高度持续接收附近的 AIS 信息。

本系统的目的是通过系留气球搭载 AIS 天线, 使得能

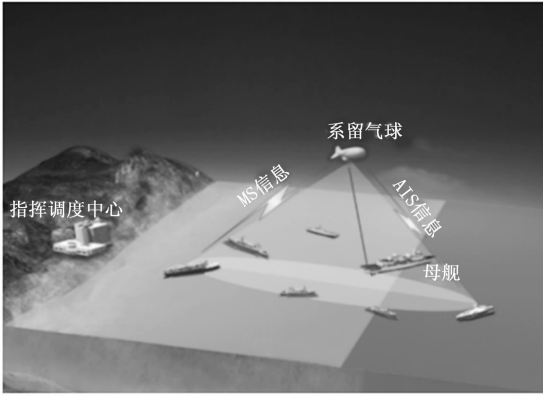


图 8 船基球载 AIS 数据采集系统海上试验示意图

够收到更远范围船只信息，为 HFSWR 提供丰富的实时数据进行性能评估。在此，定义了一个能够表示接收范围的统计学参数  $std$ ：

$$d_{boat_i} = 2arcsin$$

$$\sqrt{\sin^2\left(\frac{lat_{my} - lat_{boat_i}}{2}\right) + \cos(lat_{my} * lat_{boat_i}) * \sin^2\left(\frac{lon_{my} - lon_{boat_i}}{2}\right)} * R_{Earth} \quad (3)$$

$$std = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{num_{boat}} (d_{boat_i} - \mu)^2}{num_{boat}}} \quad (4)$$

式中， $lon_{my}$ 、 $lat_{my}$  是本船的经纬度， $lon_{boat_i}$ 、 $lat_{boat_i}$  是收到的第  $i$  艘船的经纬度， $R_{Earth}$  是地球半径，取 6 371 km， $d_{boat_i}$  为船只  $i$  距离母舰的距离， $\mu$  为  $d_{boat_i}$  的平均值， $num_{boat}$  为该统计时段内所收到的船只数量。

首先根据 AIS 报文解码出来的他船的经纬度，由公式 (3) 得出距离母舰的距离，再对本时间段内所有的船只距离母舰的距离做均方差如式 (4) 所示，得到的  $std$  能够表征球载 AIS 天线的接收范围。

在此对今年二月下旬在青岛大公岛附近海域的试验数据进行分析，以下选取了系留气球锚泊在  $h_1$  (24 m)、 $h_2$  (68.6 m)、 $h_3$  (84 m)、 $h_4$  (120 m) 时的数据进行简要分析。

通过 AIS 采集软件提取出报文中包含的船只经纬度信息，然后将其位置标注在地图上，并实时进行更新，图 9 是系留球锚泊在  $h_1$  (24 m)、 $h_2$  (68.6 m)、 $h_3$  (84 m)、 $h_4$  (120 m) 时在某时刻截取的船只分布图。

根据公式 (6) 可以计算上图中各船只距离母舰的距离，如图 10 中所示，每个点表示一艘船，点的横坐标是船的序号（按照程序中其加入位置统计时的先后排序），纵坐标即为当前该船距离母舰的距离。

图 11 中，为对应 4 个阶段收到船只的数量条形图，可以看到随着系留球锚泊高度不断升高，能够检测到的船只数量也在不断增加；图 12 为对四阶段接收距离散点图中数据进一步分析所得的各阶段  $std$  值的条形图， $std$  值的大小反映了船只在接受区域中分散的程度，通过图中可以进一步分析出，随着系留球锚泊高度的增加，接收区域明显

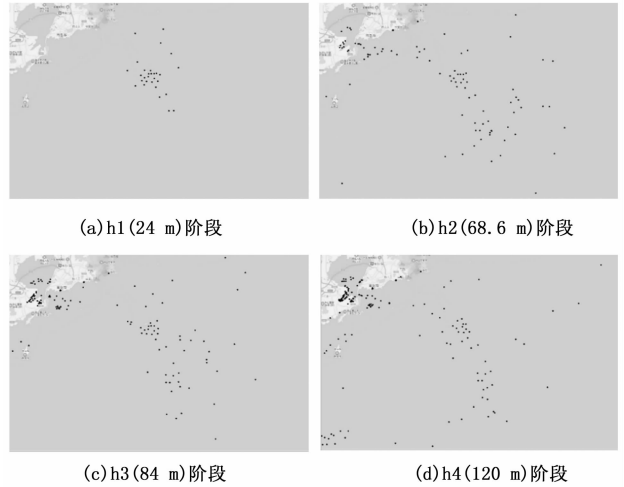


图 9 四阶段接收船只位置分布图

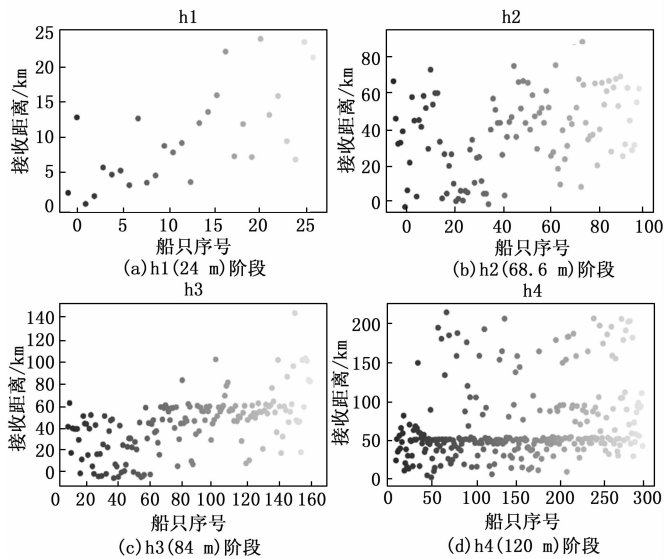


图 10 四阶段接收距离散点图

扩大。

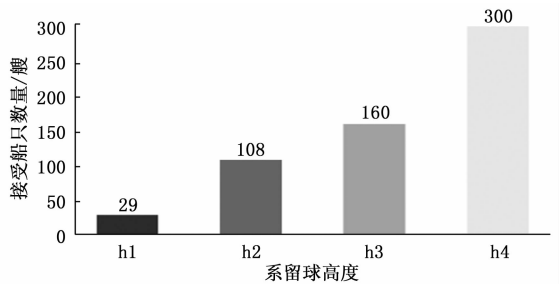


图 11 4 个阶段对应接收船只数量

由上述分析可得，当球升高时，接收的船只数量变多、接收船只范围变广。其中球高 120 m 时可以接收 210 km 附近海域的船只发来的 AIS 信息。

同时，将实验所得数据与上述海上无线电信道模型进行对比可知，当球锚泊高度较低时，受海面复杂情况的影

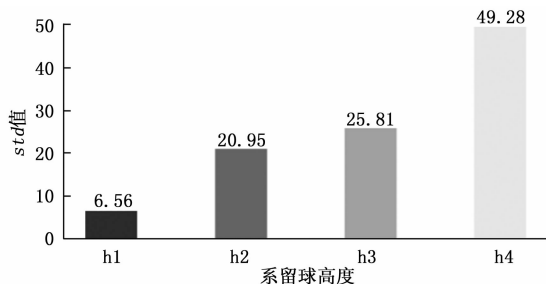


图 12 4 个阶段对应的 std 值

响(如遮挡、折射等), AIS 信号接收距离低于信道模型计算所得的理论值;而当球锚泊高度较高时(大于 100 m), 实验所得结果较为接近理论值, 具体结果如图 13 所示, 蓝色和橙色分别对应被测船只的 AIS 发射天线高度为 15 m 和 20 m 的情况, 图中的 5 个点的数据来源于出海试验中系留球在 5 个不同高度锚泊时对船只的监测情况, 可以看到当船只在 120 m, 150 m 锚泊时, 接收距离几乎接近于理论计算值。

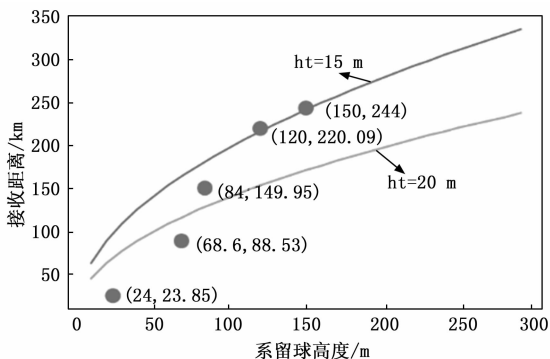


图 13 AIS 接收距离理论值与实际实验数据对比

#### 4 结束语

在本次试验中, 共计处理 AIS 报文 270 580 条, 收到 345 条船只的信息。通过实验所得的大量数据, 得到了球高与最远接收距离的曲线, 对邓祝森<sup>[13]</sup>等人提出的海上信道模型进行了充分验证, 结果表明, 当球高大于 100 m 时, 该模型在船载系留气球 AIS 采集系统上是较为适用的。

当系留球锚定在 150 m 的高空时, 能够稳定地接收到最远 244 km 处的船只所发来的 AIS 报文, 远远超过船载 AIS 天线的接收范围(约 20~40 km), 这样获得的数据能够相对接近 HFSWR 作用的范围, 有利于对 HFSWR 性能进行全面评估。

船基球载 AIS 数据采集系统利用系留气球作为升空平台, 可在较高高度长期稳定驻留, 所获取的周边海域船只 AIS 信息数据范围广, 实时性高, 漏报率低, 把 AIS 数据作为探测真值, 通过航迹关联的方式, 获取同一目标的信息, 这样就可以更准确地对探测性能进行评估。因航次和空域限制, 本次海上试验中, 系留气球最高升空高度为 150 m, 并未发挥出系统最佳性能, 在后续试验中将申请开

展更高高度的飞行。

#### 参考文献:

- [1] 肖德柱. AIS 和 ADS-B 信息在高频地波雷达中的综合分析方法研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2021.
- [2] 杨淑洁, 孙伟, 卢威, 等. 舰船雷达与 AIS 信息融合技术 [J]. 舰船科学技术, 2021, 43 (3): 167-171.
- [3] 冯爱国, 吴炜, 谷溪. 航海仪器与 AIS 数字信息解析及场景再现研究 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (12): 2839-2841, 2849.
- [4] 胡越黎, 孙斌. AIS 网络数据链路容量分析及拥塞解决方法 [J]. 计算机测量与控制, 2007, 15 (11): 1631-1634.
- [5] 史长珍. 海上 VHF 信号传播特性分析平台研究与开发 [D]. 大连: 大连海事大学, 2016.
- [6] LAST P, HERING-BERTRAM M, LINSSEN L. How automatic identification system (AIS) antenna setup affects AIS signal quality [J]. Ocean Engineering, 2015, 100: 83-89.
- [7] 王作超, 郭万海, 周京航, 等. AIS 在地波雷达使用规律中的应用 [J]. 舰船科学技术, 2010 (10): 70-72, 96.
- [8] 李世友. 基于星载 AIS 的船舶越界预警系统的设计与实现 [J]. 水道港口, 2021, 42 (5): 683-689.
- [9] CAIRNS W R. AIS and long range identification & tracking [J]. Journal of Navigation, 2005, 58 (2): 81-189.
- [10] WANG B, DONG D F, ZHU Z Z, et al. Research on stabilized tracking turntable based on balloon tethered by ship [C] // 2019 14th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMDI), 2019: 482-488.
- [11] 黄宛宁, 栗颖思, 周书宇, 等. 现代浮空器军事应用 [J]. 科技导报, 2017, 35 (15): 20-27.
- [12] 曹洁. 国外系留气球的发展与应用 [J]. 科技资讯, 2010 (25): 6-7.
- [13] 蒋冰, 郑艺, 华彦宁, 等. 海上应急通信技术研究进展 [J]. 科技导报, 2018, 36 (6): 28-39.
- [14] 秦慧娟, 苗景刚, 郝勇, 等. 基于物联网技术的浮空器远置终端设计 [J]. 计算机测量与控制, 2021, 29 (12): 156-160.
- [15] 张晓荣, 王保成, 郝勇, 等. 基于 ZYNQ 的飞艇囊体应变在线监测系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2021, 29 (12): 51-56.
- [16] 张强辉, 黄宛宁, 周江华. 高空飞艇通用数据记录仪设计 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (4): 1314-1316.
- [17] 国际电信联盟. R-REC-M.1371-5 在 VHF 水上移动频段内使用时分多址的自动识别系统的技术特性 [Z]. 国际电信联盟, 2014.
- [18] 黄宛宁, 王保成. 平流层飞艇多路视频切换器设计 [J]. 测控技术, 2013, 32 (11): 139-143.
- [19] 莫红飞, 张勇. AIS 数据解码分析 [J]. 计算机光盘软件与应用, 2012 (6): 60-61.
- [20] 刘媛美. VDES 信道建模技术研究 [D]. 南京: 东南大学, 2019.
- [21] 邓祝森, 夏启兵, 李巍, 等. 海上 VHF 无线信号传播模型测试验证研究 [J]. 中国海事, 2021 (6): 24-28.