

# 卫星浮标天线技术及其在潜艇通信中的应用

孙东平, 荣海洋, 张靖康

(海军潜艇学院, 山东 青岛 266071)

**摘要:**结合目前卫星浮标天线的发展情况,重点介绍了可回收光纤系留浮标系统。简要阐述了该系统的概念,并对该系统的结构、工作原理、数据传输能力以及布放和回收过程进行分析,最后对该系统的未来载荷和最新进展进行了论述。

**关键词:**卫星浮标天线; 可回收光纤系留浮标; 潜艇通信

**中图分类号:** U674.76; U675.75   **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2009)05-0054-03

## Satellite Buoy Antenna Technology and Its Application in Submarine Communication

SUN Dong-ping, RONG Hai-yang, ZHANG Jing-kang

(Navy Submarine Academy, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** Recoverable Tethered Optical Fibre (RTOF) system was introduced combining the development state of satellite buoy antenna. The system's concept was introduced, and the system's construction, working principle, data transmission, and deployment and recovery process were analyzed. The future load and up-to-the-minute development of the system was discussed.

**Key words:** satellite buoy antenna; recoverable tethered optical fibre; submarine communication

随着战场网络化程度的不断提高,潜艇的任务已经不是单纯地独立作战,它必须能够成为战场网络的一个任务集团,与战场上的其他兵力进行信息交换。因此,潜艇的通信能力面临着巨大的挑战,主要体现在通信的连通性、通信带宽和通信速率上。

目前,美英两国正在联合研制新型卫星浮标天线系统,即可回收光纤系留浮标系统(RTOF)。该系统是为了满足美国海军“速度和深度通信项目”以及英国军队“高效通信任务需求”而研制的,可以使潜艇保持在巡航深度和速度上实现多种频率的双向通信。

## 1 可回收光纤系留浮标系统概念

潜艇通信的压力将会变得越来越大,这主要体现在潜射巡航导弹目标数据的获取,更加紧密地与网络相结合以及最大限度地发掘AIP系统的效能等方面。所有这些都要求潜艇能够在保持大深度、良好隐蔽性和操纵性的前提下有一个宽带通信和传感系统。更为重要的是,潜艇在大深度进行通信和评估水面环境的能力,可以使指挥官在不损失安全性和攻击性的前提下,缩短决定和改变潜艇状态的周

收稿日期:2008-11-11

作者简介:孙东平(1979—),男,黑龙江牡丹江人,博士,主要研究方向为潜艇战术基础理论。

期。为此,美英联合研制了可回收光纤系留浮标系统,目的是在未来一段时期为潜艇提供一个远程天线,使其具有全方位双向特高频按需分配多址访问(UHF DAMA)卫星通信能力。系统在功能上还必须支持雷达电子支援措施、甚高频视距无线电通信和L1/L2频段GPS能力,而且天线组件必须能够在五级海情的海面正常工作。潜艇必须能够在巡航速度和深度上获得这种通信能力,且操纵性能不受限制或影响其履行职能。为了保持潜艇隐蔽作战的优良特性,所有的这些行动都必须隐蔽地进行<sup>[1]</sup>。

## 2 可回收光纤系留浮标系统的结构

### 2.1 天线组件

浮标体的四臂螺旋式天线(Quadrifilar Helix)由QinetiQ公司专门设计,在进行无线电通信时能够适应浮标体的空间特点。共形设计(Conformal design)提供了全方位中等数据速率的特高频(UHF)卫星通信发射和接收能力,与非定制系统相比其质量要轻得多。这种设计能够使浮标重心保持较低,从而使其进行无线电通信时维持动态稳定性。位于天线罩内部的印刷馈电网络与天线罩中心的4根螺旋线相连。馈电网络能够进行转换或者同时以2种模式工作。朝后的空腔能够向后反射辐射出的能量,并能保证能量的获取。

表1 QFH天线性能参数

Table 1 Performance of QFH antenna

参数	规格
频率范围	240~270 MHz 下行 290~320 MHz 上行
增益	>5 dBic pk
偏振	RHCP
带宽	30%发射+接收
功率	30~50 W

四臂螺旋式天线(QFH)能够实现L1/L2频段GPS和甚高频视距无线电通信功能。I波段和J波段全方位电子战(EW)功能由位于浮标天线罩顶部的专用天线实现。四臂螺旋式天线(QFH)工作在较高的电子战(EW)频率时能够同时实现特高频(UHF)通信和电子战(EW)功能。四臂螺旋式天线(QFH)执行参数见表1<sup>[1]</sup>。

### 2.2 浮标体构造

可回收光纤系留浮标是一个非运动性的稳定和可靠的远程潜艇天线。为了能够在拖动的时候保持稳定,浮标的外部结构利用计算流体力学进行了优化。平截头体和低拖曳点能够保证浮标迅速潜入水下而不产生振动。平截头体具有非常好的易流性,极大地增强了浮标体的水面稳定性。浮标体的机械结构采用组合结构,是一种可靠的轻型化方法。拖缆应变组件直接与浮标主体结构相连,提供了一个固定的拖曳点,进一步增强了浮标的可靠性。浮标在水面工作时将天线组件升到水线以上进行收发信。浮标体长2 m,重量大约100 kg,可以对有效载荷进行选择。浮标内部组件包括一个电池组、电路组件和天线组件。通过将较重的组件全部布置在浮标体的底部,并将变压器布置在“钟摆”的位置,保证了浮标体具有较低的重心,从而进一步增强了其水面工作的稳定性。

为了适应不同的运载平台,Ultra公司还开发了一种轻型浮标体。该浮标体直径仅为250 mm<sup>[2]</sup>,减少了有效载荷,但其性能却没有降低。这种轻型浮标体也可以使绞车和控制机构的体积大大减小。

### 2.3 操纵系统

浮标的布放和回收臂能够在潜艇的外部壳体将通信浮标升起,保证释放点正好在壳体上部。浮标的布放和回收臂由无刷直流电机驱动的双螺旋液压机操纵,在动力失效时由手动转动机构驱动。缠绕在浮标舱内电动绞车上的光缆利用一系列滑轮和导向装置与浮标支架相连。在布放浮标时,光缆将通过一个小张力处理设备。自由旋转浮标支架有一个喇叭口状结构,能够在回收时提供较大的偏斜角。系统暴露在水中的部分都是水动力流线型的,以便获得最小的结构载荷和噪音。操纵系统的设计与实现无需改动现在已有的舱室壳和制动器,并且使用已有的底座,浮标舱能够容纳数公里长的光缆。

### 2.4 动力和电感耦合

浮标由安装在布放和回收臂上的一个电感充电装置供电,该装置可以为内部的可充电电池组充电。因此,拖缆内部没有任何铜线,浮标可以仅仅被

一根光纤拖缆拖曳,这就大大减轻了拖缆的水动力载荷,使得绞车系统更加紧凑、耗能更低。浮标体内的充电线路是在布放和回收臂上电感耦合的,布放和回收臂的动力来源于艇内设备。浮标体的基座安装了一个简单的螺旋线类型的结构,充当一个钟摆重量来提供水面稳定性。充电线路在大约50%效率时为电池组提供150 W电量,一个完整充电周期大约2 h。电池组容量比实际需要的容量要高一些,能够允许系统在每个周期的标准通信窗口内完成一系列的布放和回收。

## 2.5 浮标的布放和回收

### 2.5.1 模型技术概述

可回收光纤系留浮标的运行周期可以被分解为3个阶段,称之为布放、水面工作和回收。更进一步,可以对拖缆和浮标进行区分。利用三维粘性纳维叶-斯托克斯(Navier-Stokes)的K湍流模型,建立浮标体水动力模型,并由此确定了主要的水动力系数和结构载荷。这些结果连同由经验得出的系数被用来确定六自由度动力模型。在实践中,纵向动力模型较好地减小了滚动和摇摆。

拖缆的动力模型利用开发出来的三维有限元表示法进行描述,浮标体和拖缆模型通过事先同步得到的绳缆边界条件进行耦合。上述方法能够描述远离潜艇的水下环境。在潜艇附近,流场将决定浮标体和拖缆的运动,这将极大地依赖于潜艇的速度和姿态,只能够通过流场测量和计算流体动力学方法解决。这些数据能够被整合到浮标体和拖缆模型中来抵消潜艇附近模拟的不稳定运动。

### 2.5.2 浮标体的布放

可回收光纤系留浮标的浮标体以小拉力布放,依靠其浮力运动。浮标体的末段上升速度较快,能够迅速到达水面,最大限度地延长通信窗口工作时间。拖缆从一个较高的释放点以非常小的拉力布放,能够较好地与潜艇艇壳和推进系统脱离。浮标体在潜艇上的布放方式主要有舱室布放、指挥室围壳布放、方向舵布放、稳定翼布放以及桅杆布放。

### 2.5.3 浮标体回收

浮标体的回收是一个更加复杂的任务。按照设计,浮标体在回收的时候拖曳速度较高,拖缆拉力增加时浮标体要迅速潜入水下。尽管艇外的拖缆比较

长,减缓了潜水的速度,但是拖缆对于低速潜艇最终回收浮标体的影响很小。浮标体下潜力的大小取决于水动力载荷和作用在浮标体上的力。经过详细分析,可以采用固定的水平舵来控制下潜运动,从而来提供理想的拖曳特性。

### 2.5.4 水面运行

为了有效地进行无线电通信,可回收光纤系留浮标的浮标体即使是在较差的海况下也必须为天线组件提供一个稳定的平台。为了保证这个要求能够实现,Ultra公司利用一个内部水动力代码来查明一系列海况下所期望的稳定性,并用一个六自由度模型来完全代表浮标体的机械结构。通过将水动力载荷应用到局部受力系数以及波浪模型来评估其性能。这种方法大大减少了实物试验,节省了成本。

## 2.6 数据传输

潜艇与浮标之间的通信量见表2<sup>III</sup>。

浮标和潜艇之间通过一个宽波段单模阶跃

表2 潜艇与浮标之间的通信量

Table 2 Traffic between submarine and buoy

通信内容	频率范围
无线电下行总量	12 GHz(6.5 GHz 压缩数据)
卫星通信	集中在300 MHz
电子战	I波段和J波段
L1/L2 GPS	1.2~1.6 GHz
无线电上行总量	0.3 GHz
卫星上行通信	集中在250 MHz
传感器带宽	<3 Mbps

(single mode step index)纤维连接。利用密集波分复用(Dense Wavelength Division Multiplexing,DWDM),在1310 nm和(或)1550 nm光学窗口能够建立多条光学通道。可回收光纤系留浮标系统使用六路光学波长,分别用于特高频(UHF)卫星发射、特高频(UHF)卫星通信接收、L1/L2频段GPS接收和电子战(EW)接收,两路用于双向以太网。特高频(UHF)卫星通信、L1/L2频段GPS和传感器数据使用浮标内部的激光源直接调制后下行传输,无线电数据用模拟量传输,传感器数据与千兆以太网相结合并在铜缆层(copper level)传输。浮标的多频电子战(EW)无线电频率下行链路信号使用大容量模拟光强度调节器进行调节,由一个稳定的激光源驱动。光的传输

(下转第67页)

- [15] 刘士光,包长春.新型恒温恒湿箱测控系统的设计与研究[J].农业工程学报,2001,17(5):102—104.
- [16] 李兆坚.环境实验室围护结构不稳定传热特性分析[J].环境技术,1992,(2):5—12.
- [17] 李兆坚.环境室传热特性研究[J].制冷学报,1994,(3):17—21.
- [18] 张祉佑,石秉三.制冷及低温技术下册[M].北京:机械工业出版社,1981:37—43.
- [19] 高青,王珂.隔热室体传热系数和蓄热系数的非温态测量[J].计量学报,1997,(1):38—41.
- [20] 陈谋义.气候试验箱的加湿方法[J].环境技术,1999,17(6):18—23.
- [21] 杜利劳,李新.环境模拟试验箱设计与控制技术[J].陕西环境,1999,6(3):9—11.
- [22] FOURNIER M T. Controller for an Environmental Test Chamber;United States, NO. US6,023,985[P]. 2000—1.
- [23] Suzuki Kenichi. Air Conditioner for Constant Temperature and Humidity Chamber: Japanese, NO. 2003130399A[P]. 2003—8.
- [24] HEINONEN M. A Humidity Generator with a Test Chamber System[J]. Measurement, 1999, 25(4):307—313.
- [25] 陈延庆,何飞月.高精度节能型恒温恒湿自控系统的研制[J].上海造纸,1991,22(2):2—6.
- [26] 罗文广,陈工.湿热试验箱微机测控系统的设计[J].微计算机信息,1998,14(5):34—36.
- [27] 殷瑞珍.微机控制高精度恒温恒湿测试室[J].机电设备,1991,(1):31—33.

(上接第 56 页)

利用绞车的集电环,根据载波的长度来区分不同的信息流,以此来实现滤光。

## 2.7 未来有效载荷

除了主要的功能,可回收光纤系留浮标能够利用安装的彩色摄像机提供远程潜望镜功能。另外,浮标体的尺寸也能够适合正在研制的超高频(SHF)卫星通信天线,将来的改进型也可以包括环境传感器。光纤系留浮标系统也有可能向情报和监视传感器方向发展,为潜艇提供可视图像电子支援手段。

## 3 可回收光纤系留浮标系统的工作原理

当进行通信时,潜艇使用光纤系留浮标系统释放出一个直径 450 mm 的浮标体,浮标体通过一根光纤与潜艇相连,其拉力近似为零,浮标体依靠其自身的浮力迅速到达水面并升起折叠天线组件,而潜艇不用改变其速度和深度。进行双向通信时,浮标在水面保持静止,而潜艇以非常小的拉力不断地布放光缆。可回收光纤系留浮标系统突出的特点就是通信浮标能够被高效地从潜艇布放出来,而潜艇平台依然能够保持全部的操作性能。浮标的通信窗口受拖曳光缆的长度以及潜艇的速度、深度和航路限制。当通信窗口关闭时,绞车反转,拖动浮标高速收回潜艇。为了避免浮标在水面产生的扰动被侦查雷达发现,浮标在回收开始时就立刻潜入水下。光纤系留浮标包含特高频波段,其频率主要集中在 240~

320 MHz,以及与国际互联网协议兼容的卫星通信系统、全球定位系统和雷达报警系统。

## 4 研究进展及发展空间

该系统于 2006 年 3 月交付美国海军进行组装,在英国完成水下测试。美国可能将这个系统安装在改进的俄亥俄级弹道导弹核潜艇上以及一些更加先进的攻击型核潜艇上。系留浮标是使用成熟的技术,可以使潜艇在安全深度上以 8 节速度航行时获得连续的 32 kbps/s 的通信能力<sup>[3]</sup>。根据开发公司所发布的信息,潜艇使用特高频通信时的最大下潜深度超过了 243.84 m(800 英尺)。该项目的发起者“海洋战场中心”正在开发和测试铱版本的 AN/BRT-6 消耗性特高频卫星通信浮标。另外,该公司还正在计划利用铱星将“Deep Siren”声学通信系统与直径 7.62 cm(3 英寸)的消耗性浮标相连接,并且还开发了基于铱星的双向消耗性系留光纤浮标。

## 参考文献:

- JABER B N, WHITTEN T J. White Paper of Recoverable Tethered Optical Fibre[R].Middlesex: Ultra Electronics. 2006:1—9.
- Ultra Electronics. RTOF Recoverable Tethered Optical Fibre [R]. Middlesex: Ultra Electronics Sonar and Communication Systems. 2007:1—4.
- TRUVER S C, HOLIAN T P, SCOTT R. Solutions Sought for Staying in Touch at Speed and Depth[J]. Jane's NAVY, 2005, 9:3—11.

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…

---



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

---

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>

---



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>

---



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>