

# 水下高精度立体定位导航系统

王泽民 罗建国 陈琴仙 田力  
(第七一五研究所 杭州 310012)

**摘要** 水下 GPS 定位是国际上近几年发展起来的水下定位高新技术。我国自主研发开发的水下高精度立体定位导航系统将打破发达国家在这一技术上的垄断,填补我国在水下高精度定位导航和水下工程测量领域的空白。本文介绍了该系统的构成及其主要设备,对其主要功能及应用前景进行了阐述。

**关键词** 水下定位 GPS 浮标 水下收发机 导航

## 1 引言

随着世界经济和军事发展的需求,海洋资源开发、海洋能源利用等现代海洋高新技术的研究已成为世界新科技革命的主要领域之一。海洋定位导航是一切海洋开发活动与海洋高技术发展的基础,在探测海底地形地貌、建设海洋工程、开发海洋资源、发展海洋科学以及维护国家海洋权益等诸多方面发挥极其重要的作用。

在水下定位技术方面,虽然已发展了长基线、短基线和超短基线等水下声定位系统,且均已在实际中得以应用。但由于这些系统在布设、校准和维护等方面都比较困难,费时耗资,灵活性差,不能机动,作用范围有限,无法满足象水下管线铺设放样与检测定位、水下运输导航、以及高精度水下绝对定位的要求。

水下 GPS 定位是国际上近几年发展起来的水下定位高新技术。美国海军于 2001 年委托法国 ASCA 公司开发了全球第一套水下 GPS 目标跟踪系统(专利属于美国国防部),用于水雷对抗、水下搜救和水下哑弹爆破,近期又利用该项技术进行海洋水下导弹试验和水下军事平台建设。德国 Arstech 雷达和声呐应用技术公司 2002 年也利用该项技术开发了功能类似的 GPS 浮标阵水下定位系统。这两套系统仅能从水上对水下目标进行跟踪和定位,不具备水下导航、授时和工程放样能力。

在国家 863 计划的资助下,水下高精度立体定位导航系统被列入我国“十五”期间海洋监测技术主题的发展项目之一,并进行了产品的研制开发,以适应大陆架区水下载体和拖体、特殊水下工程高精度定位的需求。它集成 GPS 定位技术、声呐浮标技术、高精度时钟和水下通讯技术,可基本满足今后长时间内海洋开发、海洋高技术发展对水下高精度定位导航的需要。

这是继美国和法国之后,我国自主研发开发的精度好、功能强、自动化程度高的水下 GPS 定位系统。该系统不但可用于从水上(海面、沿岸陆地或飞机上)对水下目标跟踪监视和动态定位,还率先利用 GPS 技术实现了水下设备导航、水下目标瞬时水深监测、水下授时、水下工程测量控制和工程结构放样等功能。该系统的成功研制,将打破个别发达国家对水下高精度定位技术的垄断,填补了我国在水下高精度定位导航和水下工程测量领域的空白。

## 2 总体构成

系统主要由 GPS 卫星星座、差分 GPS 基准站(可选)、GPS 浮标、安装于水下载体的水下收发机、陆基或船基数据处理与监控中心(简称数据控制中心)、水上无线电通讯链路、水下水声通讯链路组成,见图 1。

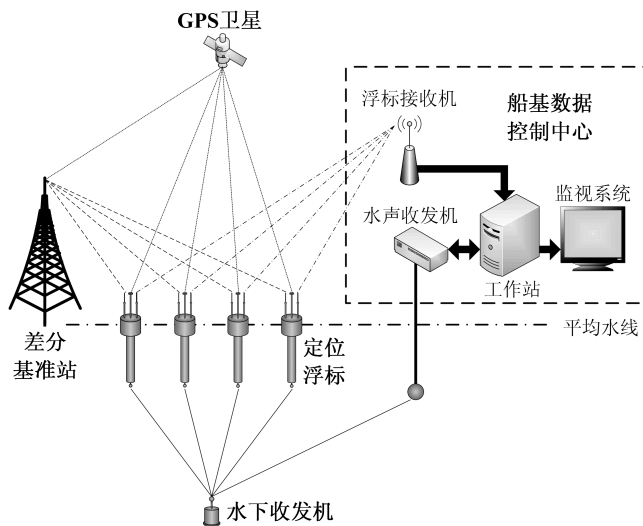


图 1 系统构成示意图

其中, GPS 浮标同 GPS 卫星星座和差分基准站组成海面大地测量基准,同时作为水下定位的水面测量基线,实现对水下收发机的精

确位置标定。数据控制中心和水下收发机之间的水声通讯链路可进行定位数据的相互传送,实现对水下载体的导航功能。水下收发机提供用户数据接口,可同水下载体进行数据交换。

系统的工作模式有两种:跟踪模式和导航模式。在跟踪模式下,数据控制中心向水下收发机(安装于水下载体)发送定位请求信号,激活水下收发机向 GPS 浮标发射定位信号。GPS 浮标接收到定位信号后,对其进行精确时延估计,并将结果数据连同浮标姿态校准数据、GPS 定位数据等信息进行调制后发回数据控制中心。数据控制中心将 GPS 基准站差分信号与以上信息进行融合处理后计算出水下载体位置,并动态显示水下载体在大地测量坐标系中的位置。在导航模式下,由水下载体发出导航请求,通过用户数据接口激活水下收发机向 GPS 浮标发射定位信号,同时向数据控制中心发射导航请求信号。GPS 浮标接收到定位信号后,对其进行精确时延估计,并将结果数据连同浮标姿态校准数据、GPS 定位数据等信息进行调制后发回数据控制中心。数据控制中心将 GPS 基准站差分信号与以上信息进行融合处理后计算出水下载体位置,然后通过水声通讯链路发射到水下收发机;水下载体通过用户数据接口从水下收发机取回数据后就能计算出导航参数。

### 3 组成设备

#### 3.1 GPS 浮标

GPS 浮标用于建立水下定位的海面测量基准,其自身的位置通过 GPS 定位技术进行实时高精度标定。

GPS 浮标结构为自浮式锚泊结构,主要由 GPS 接收机、三维数字罗盘、数传电台、水听器位置校正装置、多路信号处理电路及换能器等构成,完成 GPS 浮标的实时定位、定位信号的精确时延估计、浮标姿态校正、水听器位置校正、时钟同步解算、数据的综合编码控制与无线传输等功能。

为使系统适应不同海况环境的使用需求, GPS 浮标的定位水听器可下放一定深度,保证定位信号的平稳接收,确保系统的正常运作。

#### 3.2 水下收发机

水下收发机安装于水下载体,可实现对水

下载体的定位、导航和控制。它可根据数据控制中心下传的定位请求,自动生成并发射高精度的定位信号,同时通过水声数据通讯方式将相关数据发送回数据控制中心。它也可将接收的定位、导航控制数据通过用户数据接口传送至水下载体。

水下收发机主要由信号接收和处理电路、水声发射机、传感器数据采集、用户数据接口及时钟同步接口等构成,完成高精度定位信号的生成与发射、水声通讯信号的生成与发射、水声通讯数据的解调、传感器数据和用户导航数据的综合、系统时间同步控制等功能。

水下收发机采用密封式耐高压的结构设计,使系统具有一定的防水、耐高静水压性能,保证深水环境下的可靠工作。同时,水下收发机配备有电源水密接口,使其能够向水下载体引入电能,以延长水下作业时间。

#### 3.3 数据控制中心

数据控制中心可基于陆地或船舶,是系统的数据处理中心,可给用户提供监控界面和数据接口。

它主要由数据处理工作站、监视系统、浮标接收机和船基(或陆基)水声收发机构成,负责接收来自 GPS 浮标和差分基准站通过无线通讯链路传送的定位数据,并对 GPS 浮标动态位置和水下载体位置进行精确解算,实时显示水深数据、系统状态参数及目标位置和运动轨迹等;负责执行水下用户的跟踪请求及水下用户的导航请求等功能;并根据每隔一定时间测得的声速梯度数据,进行声线弯曲补偿和声速改正,以提高系统定位精度。

### 4 主要功能

#### 4.1 对水下目标进行跟踪或动态定位

当系统用于从水上对水下目标进行跟踪监视和动态定位时,用户在数据控制中心。数据控制中心可以在作业船上,也可以在岸边陆地上,特殊情况下也可以安置在飞机上。水下导航收发机安装在被监视的水下目标上。用户通过数据控制中心的监控界面发射跟踪或定位请求信号来启动系统,监控界面将动态显示水下目标的运动轨迹、GPS 浮标的运动轨迹以及系统的工作状态。当输入电子海图后,系统的监控界面可在海图上动态显示水下目标、GPS 浮

标以及数据控制中心的位置。

#### 4.2 水下目标导航与精密授时

当系统用于水下目标导航和授时时,用户在水下。水下收发机安装在需导航的水下目标上。水下用户通过触发(或自动控制)收发机的用户接口启动系统,此后,水下收发机将以一定的频率发射水声定位信号,接收来自数据控制中心的定位结果和定位信号时刻,并计算出导航参数(用户可通过水下监控界面输入导航目的地,也可事先设置好目的地)和当前时刻,从而实现水下目标导航和精密授时。

#### 4.3 水下目标瞬时水深监测

当系统用于水下目标瞬时水深监测时,用户既可在水上,也可在水下。当用户在水上时,数据控制中心将动态显示水下目标的水深(包括平面位置),并可与水下目标跟踪或动态定位功能一起使用。当用户在水下时,水下用户接口将动态输出水下目标当前的水深(包括平面位置),并可与水下目标导航与精密授时功能一起使用。

系统的水下目标水深监测,是利用 GPS 浮标的瞬时大地高与水下目标的瞬时大地高按一定方法计算的。所监测的水深包含了动力环境引起的水面变化(如海洋潮汐、海流、洋流以及江河的水流落差等)。这对于水下工程、水下军事技术、水下安全、水下探险和娱乐等领域的应用具有特殊的意义。

#### 4.4 水下工程测量控制

水下工程测量控制是一种高精度水下精密测量控制,用户在水下。为提高水下控制点的点位精度,采用精密定位和边长测量相结合的方法,并对控制网进行测量平差。水下用户可实时获得控制点的粗略位置,更高精度的控制点点位坐标是在水下作业完成后,经测量平差处理后给出。

为方便水下工程测量控制作业,可利用系统的水下目标导航功能辅助作业。

#### 4.5 水下工程结构放样

水下工程结构放样的基本原理与水下目标导航类似。不同的是,水下用户接口除提供导航信息外,还可提供高精度的长度、方位、角度、静态平台姿态、垂线、水平线等工程信息。用户可将事先设计好的工程结构图和放样方案从水下监控界面输入。

为提高水下工程结构放样的精度,可利用

系统的水下工程测量控制功能。

## 5 应用前景

陆地大地测量与工程测量的基本任务是陆地测图与工程建设基本控制、目标定位与导航、工程结构安装放样测量等。本系统基本能将这些在陆地与空间上实现的功能扩展到水下,因而能满足在今后相当长一段时期内各种水下海洋活动与海洋高技术对水下大地测量与工程测量的需要,市场前景广阔。系统可以实现水下目标或载体自动化定位与导航,将从根本上改变以往水下定位的被动模式,特别是水下工程结构精密放样技术在国内属首创技术,因而能开拓更广阔的市场。

主要的应用领域包括如下一些方面:

- 海洋大比例尺水下测图控制、测图设备自动定位导航与自动成图;
- 海洋资源探测、开发与海底底质填图的水下定位导航;
- 从海面对多个水下目标同时跟踪与定位;
- 无人遥控的海底运载工具实时定位与导航;
- 海底管线铺设测量控制及故障检测定位;
- 水下工程的精密测量控制与工程结构实地放样;
- 水下探测设备各种辅线(特别是垂线)实时校准;
- 陆海空一体化活动的精密导航与测量控制;
- 沿岸工程(港口、潮汐电站等)建设的水下测量控制;

## 6 结束语

本系统的关键技术覆盖了不同精度、不同目的的水下大地测量、工程测量和导航的绝大部分要求,通过适当简化其系统硬软件配置,可以构成满足不同海洋活动对水下定位、导航、测量工程控制、工程结构放样需求的水下定位系统,组装满足不同精度或不同应用目的、成本适中的系列产品。它的研制,将为我国的海洋开发活动提供一种更加便捷、灵活的定位导航手段。