

# 锚泊式海洋剖面观测浮标系统

## The system of mooring marine profiling observation buoy

刘长华<sup>1</sup>, 王春晓<sup>1</sup>, 贾思洋<sup>1</sup>, 张曙伟<sup>2</sup>, 杨青军<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 山东省科学院 海洋仪器仪表研究所, 山东 青岛 266001)

中图分类号: P715.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2014)08-0099-04

doi: 10.11759/hyxx20140401004

观测技术是促进海洋科学逐渐走向成熟的关键因素之一, 海洋科学从物理、生物到地质, 从海气交换到大洋剖面水体, 观测尺度和范围跨越时间和空间几十个数量级<sup>[1]</sup>。目前随着观测技术的发展, 海洋科学发展所依赖的海洋数据获取方式正在从“考察”向“观测”转变<sup>[2]</sup>, 而且海洋环境监测已进入从空间、沿岸、水面及水下对海洋环境进行全方位、全天候立体监测的时代。然而, 目前我国大部分的海洋环境监测技术仍然依靠船舶观测和台站观测技术周期性地采集海洋表层或有限的一些水层的要素数据, 对于海洋次表层以及深层水下的资料十分稀缺。随着人们对海洋科学认知需求的提升, 仅仅依靠表层或有限水层的要素数据, 难以对我国广阔海域的物理、生物、化学环境等多方面状况进行深入了解, 无法满足全方位的立体监测要求, 不能适应我国海洋经济发展的需要<sup>[3]</sup>。

有效获取、连续监测我国近岸浅海区域不同深度的剖面海洋参数, 在预报和减灾上可以为海洋环境数值预报和灾害性海况遥测提供数据资料; 在军事上可以提供海洋环境实测数据, 用于声纳作用距离预报和潜艇航行航道保障; 在海洋养殖中可以预报海水水体环境变化规律, 控制生物最佳养殖环境<sup>[4]</sup>。因此, 在当前的经济与技术发展水平条件下, 如何实现有效获取海面以下水体垂直剖面的海洋环境要素数据已成为我国海洋环境监测中关键的一环<sup>[3]</sup>, 本文将详细介绍目前锚泊式海洋剖面观测浮标系统的整体情况。

### 1 锚泊式海洋剖面观测浮标观测技术的基本分类

一个典型的锚泊式海洋剖面观测浮标系统如图1所示, 系统主要包括浮标载体和剖面链两个观测子系统, 其中浮标载体观测子系统为整套剖面观测系

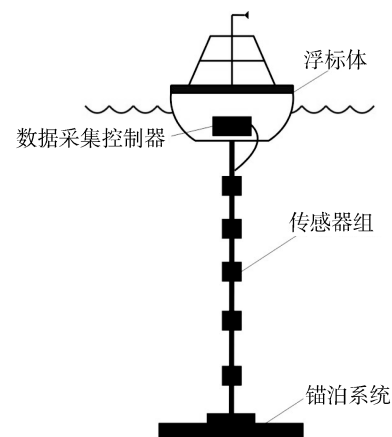


图1 锚泊式海洋剖面观测浮标系统结构示意图

统提供了安全可靠的工作平台, 它既是水面观测的主体承担者, 也是剖面测量设备的载体, 主要包括浮标体、系留系统、观测系统、数据采集与控制系统、通信系统、供电系统、检测系统、安全报警系统等8个部分, 浮标载体观测子系统可以通过搭载不同类型的传感器实现对布放海域表面的气象、水文和水质等参数进行长期、连续、自动、实时的观测, 并可通过CDMA(Code Division Multiple Access: 码分多址)、GPRS(General Packet Radio Service: 通用无线分组业务)或北斗卫星通信系统将观测数据实时地发送到岸基数据接收处理系统<sup>[5]</sup>。

剖面链观测子系统是锚泊式海洋剖面观测浮标系统的水体观测部分, 主要采用在系泊钢缆上不同位置(水层)挂有一个或多个水下传感器组成剖面水体观

收稿日期: 2014-04-01; 修回日期: 2014-04-20

基金项目: 中国科学院信息化专项项目(XXH12504-2-06); 海洋科学特色科普应用(2013KY06)

作者简介: 刘长华(1977-), 男, 山东临邑人, 高级工程师, 博士, 主要从事海洋观测方面的研究管理工作, E-mail: lch@qdio.ac.cn

测系统,用于测量相应位置(水层)的海洋环境参数,该部分按工作模式可分为自容数据采集模式和实时传输采集模式两种,自容数据采集模式主要使用自容式传感器进行测量,然后定期回收剖面链上的自容传感器,在船上或陆上完成对测量数据的下载和存储,并更换电池和重新设置,最后再将其固定回剖面锚泊链上,进行新一轮周期的数据观测;剖面实时传输采集模式主要是使用直读式传感器进行测量,然后将其获取的数据实时传输至水面浮标载体中的数据采集与控制系统当中,数据采集与控制系统再将这些数据进行存储并实时发送到岸基数据接收处理系统。

采用自容数据采集模式的锚泊式海洋剖面浮标系统实现方案相对简单,实用性较强,但是这种模式也存在一些明显的缺陷和不足,主要体现在以下几个方面:一是水下传感器的绑缚固定方式和后期的回收难度较大,操作较为复杂;二是布放海域受深度限制较大,如果布放于近岸浅海海域,借助潜水员下潜进行设备回收和数据采集还相对简单,如果布放于深海海域或者潜水员无法下潜的深度,此方案较难实现;第三是该模式在实现水体剖面参数观测方面不具有实时性,无法进行剖面水体环境参数的实时观测;最后是工作于该模式的自容传感器一旦发生故障只有在下一次回收时才能发现,易造成数据的缺失。

采用剖面实时传输采集模式的锚泊式海洋剖面浮标系统能够实现对海洋表层、次表层乃至深层的垂直剖面水体进行多层海洋参数的长时间同步实时观测,因此其适用范围更为广泛,对于全面、深入认

识海洋水体环境有所裨益。

## 2 剖面实时传输采集的通信方式

锚泊式海洋剖面观测浮标系统采用剖面实时传输采集模式时的核心问题是如何将水下传感器的测量数据传输到水上的数据采集与控制系统中,也即通信方式的选择。目前,用于锚泊式海洋剖面观测浮标系统进行剖面数据实时传输的通信方式可分为有线通信和无线通信两类,其中无线通信又包括水声通信和感应耦合两种方式。在海洋水下这种特殊的环境中,考虑到漏水、断裂和其他意外因素的影响下,无线通信方式具有更加广阔的应用前景和实用价值。同时由于无线通信方式对锚系的依赖较小,因此更有利于深远海的剖面数据观测。

### 2.1 有线通信方式

有线通信方式也即电缆传输方式,是将直读式传感器捆绑安装于各测量位置处,通过多芯水密电缆连接匹配的通信接口(如 RS485 或 RS232 等)来实现水下传感器与水上数据采集与控制系统的数据传输,数据采集与控制系统依据相应的通信协议也能实现对水下传感器的实时控制,同时水下传感器的供电也可通过电缆连接浮标体内的蓄电池来实现。由美国、法国、日本、韩国和中国合作布设的“热带海洋大气阵列”(TAO)中的 ATLAS 浮标就是采用电缆传输式的温盐链,链上的各个温盐深传感器通过多芯电缆锚化接头,可以实时进行观测<sup>[1]</sup>。浮标系统采用有线方式进行通信的结构示意图如图 2a 所示。

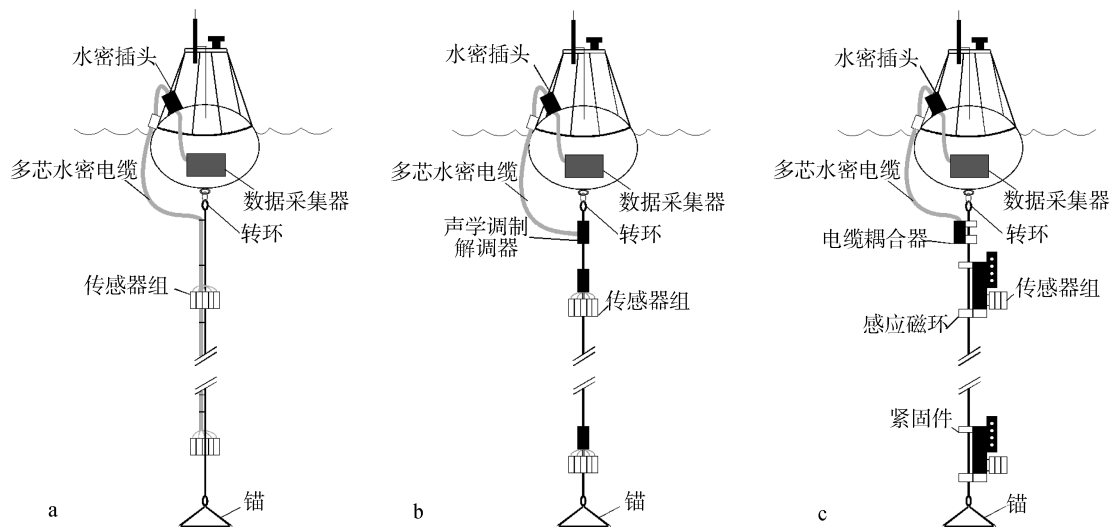


图 2 锚泊式海洋剖面观测浮标系统采用不同通信方式的结构示意图

a. 有线方式; b. 水声通信方式; c. 感应耦合方式

优点: (1)传感器数量较少时, 安装深度较浅时系统整体成本较低; (2)由于电缆均带有屏蔽层, 所以系统的抗干扰能力相对较强; (3)由于传感器通过浮标内的蓄电池实现供电, 所以布放周期比较长。

缺点: (1)如果所有传感器采用一根多芯电缆传输, 单点故障就有可能影响整个系统, 但如果为每个传感器都提供专用的电缆传输, 电缆数目就会非常大, 导致整个锚链会异常笨重, 同时成本也会变得非常高; (2)线缆接头容易受到腐蚀, 并且在海水的冲力作用下也容易松动或脱离; (3)传输电缆强度较低, 在海水的长期作用下很容易发生断裂, 因此必须要有复杂的保护措施; (4)传感器的位置部署不灵活, 一旦确定就不轻易再作改动; (5)影响锚系结构, 甚至产生锚系结构的受力点变化, 具有潜在的锚系断裂隐患。

## 2.2 无线通信方式

无线通信方式根据工作原理的不同可分为水声通信和感应耦合两种, 其中采用感应耦合方式进行数据通信的锚泊式海洋剖面观测浮标系统已逐渐成为主流。

### 2.2.1 水声通信

水声通信是水中广泛应用的通信手段, 目前主要用于长距离的低速信息传输, 水声通信可以看作是主、被动声纳技术的结合, 要选择合适的发射信号在水中发射, 又要有适合的接收机接收信号。使用该方式时, 各水下传感器以及水上数据采集控制系统都配有独立的声纳发送和接收装置, 通过水声信道实现数据的传输。采用水声通信方式的锚泊式海洋剖面观测浮标系统结构示意图如图 2b 所示。

优点: (1)是一种无线通信方式, 无需线缆连接; (2)相比其他无线通信方式(例如电磁波, 光波等), 声波在海水中的衰减非常小, 是一种有效的水下通信手段; (3)基本不影响锚系结构。

缺点: (1)每个传感器组都需配置声纳装置, 系统整体成本较高; (2)由于水声是发散性传播, 这就要求声纳要有较大的发射功率, 因此声纳发送和接收装置体积大、功耗高, 不太适合用在小型化、低功耗的水下传感器这类小型设备; (3)由于水声信道的传输条件十分恶劣, 数据传输的质量受海况的影响比较大, 当有障碍经过时, 通信系统会暂时中断而无法通信, 传输可靠性差; (4)水声信道的带宽有限, 特别是浅海水声信道, 单位时间内传输的数据量很小。

### 2.2.2 感应耦合

感应耦合通信技术是基于电磁感应原理进行电能或数据传输的一种手段。锚泊式海洋剖面观测浮标系统采用感应耦合技术进行通信的结构示意图如图 2c 所示, 带有耦合磁环的水下传感器安装于锚泊系统中的普通包塑钢缆上, 载有传感器数据的载波信号通过电磁感应耦合的方式耦合到单根系留的包塑钢缆与海水构成的单匝回路上, 在包塑钢缆靠近浮标的一端使用一个感应耦合磁环即可获得这些载波信号, 而磁环上的数据则可以通过水密电缆或再次通过电磁感应耦合的方式传输到水上的数据采集控制系统, 水下传感器的安装示意图如图 3<sup>[6]</sup>所示。美国“百慕大试验站锚泊系统”(BTM)中使用的所有水下仪器, 测量数据都通过感应式调制解调器耦合, 利用一根单芯的、公共的锚泊缆绳实时传送给海面浮标<sup>[6]</sup>。

优点: (1)系统结构简单, 成本较低; (2)发送和接收装置的尺寸重量较小, 功耗低; (3)传输距离可以很远, 可以应用到很深的海域; (4)各传感器之间相互绝缘, 单点故障不会影响系统工作, 系统可靠性高; (5)拆装方便, 感应磁环和紧固件分为两部分, 只需用紧固螺栓将其对接即可, 在测量剖面里可以任意增减传感器, 且安装位置可任意改变; (6)传输介质为塑包钢缆, 其破断力可达数吨到数十吨, 无需水密连接及其他复杂的保护措施就能方便接入浮标观测系统; (7)后期维护工作成本低, 工作难度较小; (8)随着感应耦合技术的发展, 将来可以利用感应耦合技术实现电能的无线传输。

缺点: (1)初次投入成本相对较高一些; (2)周围环境的电磁噪声会对数据传输产生一定的干扰。

#### 2.2.2.1 感应耦合系统的工作过程

数据采集控制系统与水下传感器之间的命令和数据使用 DPSK 编码(差分相移键控码)以半双工的方式进行传输, DPSK 编码可以最大程度地减小外界干扰, 在水下最大传输距离可达 8 000 m。当接收到数据采集控制系统发出的唤醒命令时, 感应耦合调制解调器向所有包塑钢缆上的感应传输设备发送一定时长的唤醒命令。程序对每个水下传感器组都设定一个 ID 号, 每组水下传感器都只响应包含对应 ID 号的指令, 当水下传感器响应完成后, 再次返回到聆听状态, 等待下一个命令。全局节电命令能够使所有感应传输设备都进入休眠模式, 或者在一定时间内没有接收到任何命令时, 系统也会自动进入休眠模式。

#### 2.2.2.2 感应耦合系统的安装与维护

感应耦合系统的安装参考图 2c 和图 3, 首先将多

个传感器和感应耦合磁环进行集成,然后再将整个传感器集成装置安装在包塑钢缆的设定位置上,安装感应磁环时要注意保证两半磁环定位准确、接触良好,安装完成后的磁环内孔与钢缆之间要略有间隙,最后将电缆耦合器通过水密电缆与调制解调器相连接,而调制解调器可以集成安装在水上数据采集控制系统中。注意在安装的过程中,电缆耦合器与水密电缆的接头都要做到严格水密。在水下传感器出现故障或需要更换电池时,只需要将感应磁环和紧固件松开就可以取下整个传感器组,然后进行相关的维护工作即可。

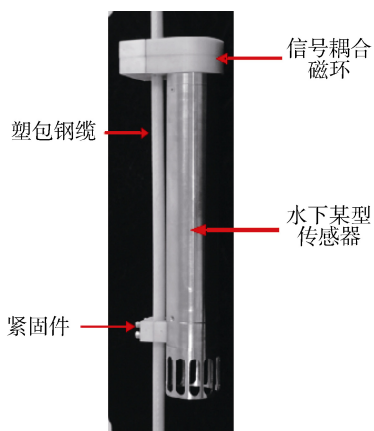


图3 锚泊式海洋剖面观测浮标系统中感应耦合方式水下传感器安装示意图

### 3 问题与展望

我国海洋科学研究的主体随着观测技术的进步逐渐从“海面”走向“水体”,锚泊式海洋剖面观测浮标系统是有效获取、连续监测我国近岸浅海区域不同深度的剖面海洋参数的重要观测方法和手段,虽然目前我国海洋研究事业已经提出“走向深海”的发展思路,但是观测手段基本局限于船舶走航观测和潜标观测,大洋深海研究所关注的水体由于技术的限制还没有获取到剖面的观测数据,毋庸说长期的深海剖面连续数据,而这些大洋深海的剖面水体观测数据对于取得关键性问题的突破认识至关重要,比如热带太平洋TAO锚定浮标阵列的长期观测数据揭开了厄尔尼诺成因的谜底<sup>[7-8]</sup>;欧洲共同体“海洋科学与技术”计划支持的锚系剖面器YOYO则于1999年9月用15 d时间,获取到从水深200~1 100 m 30条硝酸盐剖面,为海洋生物地球化学取得了极其宝贵的观测资料<sup>[9]</sup>。因此积累、完善我国自有、成熟的剖面水体观测经验是当务之急,依托我国近

岸浅水区域水面观测和海底观测的技术经验,逐渐将观测范围从近岸浅水区的水面扩展至浅海剖面水体,是一条切实可行的发展之路。

在技术方面,浅海剖面观测应当根据需求设定观测方案,观测周期较短,如几个月或半年周期,可采用自容式的观测模式;观测周期较长,观测海区情况复杂则考虑实时传输方案,以利于减少维护和安全考虑。在采用实时剖面观测方案中,应注意感应耦合方式依托传输介质的牢固性,因此限制了水面浮标载体的规模,另一方面,我国近岸环境复杂,相对而言大浮标载体较小浮标载体的抗破坏性强,安全系数高,所以在选择感应耦合传输方式为主的海洋剖面浮标观测系统时,应多方面综合考虑。

参考文献:

- [1] Ruhl H A, André M, Beranzoli L, et al. Societal need for improved understanding of climate change, anthropogenic impacts, and geo-hazard warning drive development of ocean observatories in European Seas [J]. *Progress in Oceanography*, 2011, 91: 1-33.
- [2] 海洋地质国家重点实验室(同济大学).海底观测——科学与技术的结合[M].上海:同济大学出版社,2011.
- [3] 翁杰,刘敬彪,于海滨.海洋定点垂直剖面监测控制系统研制[J].*计算机系统应用*,2010,19(4):108-111.
- [4] 邵毅.轻型感应耦合数据传输温盐链系统[J].*海洋技术*,2009,28(3):36-39.
- [5] 赵聪蛟,周燕.国内海洋浮标监测系统研究概况[J].*海洋开发与管理*,2013,30(11):13-18.
- [6] 邓云.感应耦合数据传输技术及其在海洋领域的应用研究[D].天津:天津大学,2009.
- [7] McPhaden M J, Busalacch A J, Cheney R, et al. The Tropical Ocean-Global Atmosphere observing system: A decade of progress [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1998, 103(C7): 14169-14240.
- [8] Field J G, Hempel G, Summerhayes C P. OCEANS 2020: Science, Trends, and the Challenge of Sustainability [M]. Washington: Island Press, 2002.
- [9] Thouron D, Vuillemin R, Philippon X, et al. An autonomous nutrient analyzer for oceanic long-term in situ biogeochemical monitoring [J]. *Analytical Chemistry*, 2003, 75(11): 2601-2609.

(本文编辑:刘珊珊 李晓燕)