

走航式海洋观测平台设计及其初步应用*

孙兆华¹, 曹文熙², 黄健龙¹, 周璇¹, 李晓伟¹, 邹国旺²

1. 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室(南海海洋研究所), 广东 广州 510301;

2. 热带海洋环境国家重点实验室(中国科学院南海海洋研究所), 广东 广州 510301

摘要: 缺乏现场海洋观测数据是限制我们进一步认识海洋的瓶颈之一。文章设计了具备远程遥测功能的全自动海洋监测平台, 该平台无人值守、采用走航观测方式自动获取长时间序列海洋监测数据。此研究还对该平台进行了近海和远洋走航共两次验证测试。结果表明, 该平台稳定可靠、兼容性好, 走航数据符合所监测水域的水体特征, 可用于探讨相关参数的变化特征, 揭示事件和过程的机制机理。如果将该平台搭载于轮渡、渔船等非科考船, 则可以在现有海洋技术条件下, 高效地获取更大的空间和时间尺度的实时大数据, 为解决海洋观测数据缺乏的问题, 提供一种技术手段。

关键词: 环境监测; 水质监测; 船载走航观测; 海洋观测

中图分类号: P715.41; X853; P761.3 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2018)04-0013-07

Design and application of ship-borne marine-monitoring platform

SUN Zhaohua¹, CAO Wenxi², HUANG Jianlong¹, ZHOU Xuan¹, LI Xiaowei¹, ZOU Guowang²

1. CAS Key Laboratory of Ocean and Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Guangzhou 510301, China;

2. State Key Laboratory of Tropics Oceanography (South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences), Guangzhou 510301, China

Abstract: The lack of ocean observation data is a bottleneck, which limits our capability to study and explore oceans. We designed a fully-automatic marine-monitoring platform with the remote-telemetry function, which also can auto-obtain ship-borne long time series marine monitoring data. We tested the fully-automatic marine-monitoring platform two times in coastal water and open ocean, which was stable, reliable and compatible according to the data analyzed. The data showed relevant parameters' changes and revealed mechanisms of relevant ocean events and processes. We expect to popularize the platform on ferries, fishing boats/ships and other non-scientific ships, which utilize existing routes and ship-borne observation method to obtain cost-effective and real-time big data on both wide spatial scale and long time series. Based on the present marine technology, it is a new technical solution to the problems of lacking oceanographic data.

Key words: environmental monitoring; water quality monitoring; ship-borne; oceanographic observation

收稿日期: 2018-01-04; 修订日期: 2018-03-25。卢冰编辑

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(41406205); 国家海洋公益性行业科研专项(201305019); 中国科学院南海海洋研究所所拨特聘研究员项目(Y4SL021001); 广东省科技计划项目(2017B010118004)

作者简介: 孙兆华(1979—), 男, 内蒙古乌海市人, 博士, 主要从事海洋技术研究。E-mail: joeysun@scsio.ac.cn

通信作者: 曹文熙。E-mail: wxcao@scsio.ac.cn

*感谢中国科学院南海海洋研究所“马里亚纳海沟动力学机制及极端环境研究”项目(Y4SL021001)资助; 感谢广州水色海洋技术有限公司对系统实现提供的帮助!

Received date: 2018-01-04; **Revised date:** 2018-03-25. Editor: LU Bing

Foundation item: Young Scientists Fund of the National Natural Science Foundation of China (41406205); Welfare Project of the Oceanic Administration (201305019); Project of South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences (Y4SL021001); Science and Technology Planning Project of Guangdong Province of China(2017B010118004)

Corresponding author: CAO Wenxi. E-mail: wxcao@scsio.ac.cn

* Thanks for the funding of the Marianas Trench Project (Y4SL021001) from South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences; thanks to Guangzhou Water Color Ocean Technology Co., Ltd. for the help of the system implementation.

人类对海洋的认识是海洋科学与技术耦合的结果,海洋科学是技术发展的原动力,而技术的进步则直接推动着人类对海洋科学认识的逐步深化(Curtin et al, 2008; 汪品先, 2011)。比如空间技术的进步推动了卫星遥感的发展,将离散的、局部的海洋观测方式,直接提升到大尺度、全局的观测视野(Martin, 2014)。在“热带海洋-全球大气 (TOGA)”计划中,锚定浮标提供了长达 10 年的长时间序列、组网观测数据,推动海洋科学家揭示了厄尔尼诺的成因(McPhaden et al, 1998)。

得益于 20 世纪 80 年代以来科技的高速发展,尽管今天人类已经能够在一定程度上从航天航空(Glasgow et al, 2004)、海洋表面(Jannasch et al, 2008; Hydes et al, 2009)、海洋剖面(Weller et al, 2000; Perry et al, 2003; Dickey et al, 2008)、海洋底部(Cacchione et al, 2006)、海底钻探(Fisher et al, 2005)、组网实时长期连续观测(Detrick et al, 2000; 上海海洋科技研究中心(筹)等, 2011)等更广的空间尺度和更长的时间尺度去观测海洋;但是,一个广泛的共识是,受限於海洋现场观测数据的缺乏,我们对海洋的认识依然十分有限。

海洋现场观测数据的缺乏,一方面是因为海洋技术不够完善,如:受电力和实时通讯能力的限制,除了在有限的铺设了海底观测网的区域外,无论是固定或者流动的观测站,都无法在广袤的海域获取足够的高时空分辨率的实时数据;另一方面,即便在海洋技术能够满足监测需求的情况下,由于资源配置、地域和经费限制等原因,也无法获取足够的高时空分辨率的实时数据。

为了获取足够的现场观测数据,国内外科研工作者已经进行了一定的探索工作。2001 年国家海洋预报中心、山东省科学院海洋仪器仪表研究所和国家海洋技术中心联合研制开发了志愿船自动测报仪。该系统仅进行气象走航观测,存在观测种类单一、通讯手段单一、无法实时发送观测数据等技术问题。综合科考船,如“向阳红”系列新船和“科学”号,配置了表层多要素连续自动测定系统,以及“836 计划”课题所研发的船载海洋生态环境现场监测集成示范系统(崔洪渊 等, 2004);但这些系统难以安装于吨位较小的船只上,不适用于湖泊和江河应用环境。德国 4H-JENA 公司的 FerryBox 水生生态监测站,是一种商业化的全自动实时水生生态监测系统,能实现多种水质参数同时监测,适用于海洋、淡水或极端环境的长期、自动化监测(侯朝伟 等, 2017),但具有进口设备的固有弊端,采购

和售后维护的周期较长,无法及时快速地响应客户需求,难以对设备进行本地化集成优化。

为了解决针对海洋现场观测数据缺乏的问题和现有走航式观测平台的技术问题,在国家青年科学基金项目、国家海洋公益性行业科研专项和中国科学院南海海洋研究所所拨特聘研究员项目的支持下,本文设计了具备远程遥测功能的全自动海洋监测平台。该平台无人值守,采用走航方式自动获取长时间序列海洋监测数据。本研究还对该平台进行了近海和远海的验证测试。该平台可集成生物、生态、水质、水文、气象、光学以及其他通用传感器,满足海洋生物、海洋化学、海洋物理、物理海洋、大气等多学科,及跨学科的研究需求;可推广应用于轮渡、渔船等非科考船,利用其航线资源和走航观测的方式,高效地获取更大的空间和时间尺度的实时大数据,在现有海洋技术条件下,为解决海洋观测数据缺乏的问题,提供了一种技术手段。

1 系统设计

1.1 总体设计

从功能上讲,走航式海洋观测平台由进样系统、电源系统、数据采集系统、通讯系统和传感器构成,如图 1 原理框图所示。该平台应用于科考船、轮渡、渔船等不同载体时,进样系统和通讯系统的安装结构和配置上会稍有不同,平台整体基本原理是一致的。

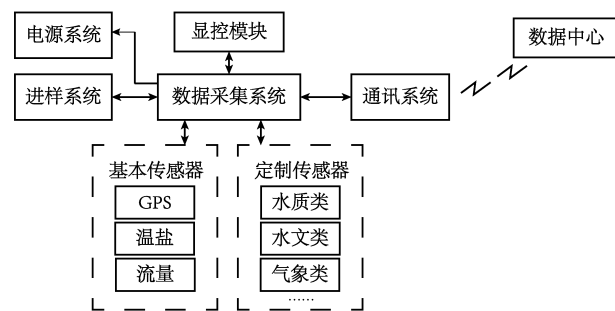


图 1 走航式海洋观测平台原理框图

Fig. 1 Block diagram of the ship-borne marine-monitoring platform

1) 进样系统: 将海水从海表抽入, 进行去气泡、泥沙等预处理。具有原位采样存储、进样、分样、排样和自动清洗管路等功能。对于科考船、轮渡、渔船等不同载体, 需设计不同的安装结构。

2) 电源系统: 是由船上交流电源或发电机提供, 然后经过交、直流转换后供设备使用。

3) 数据采集系统: 实现三部分功能, 一是全

自动进样流程控制；二是数据采集、存储、预处理、传输、显示和分析；三是观测平台状态监控。

4) 通讯系统：用于实现数据中心和走航式海洋观测平台远程通讯。对于近海、湖泊和江河的应用环境，优先考虑 4G 信号、无线网络或有线网络等高性价比的通讯方式；对于远洋的应用环境，优先考虑北斗或铱星等可实现功能的通讯方式。

5) 传感器：分为基本传感器和定制传感器两种。基本传感器包括 GPS 模块、温盐传感器和流量计，提供走航测量所需的基本地理位置信息、温盐和进样系统抽取海水的流量数据；其余均属定制传感器，依据科学问题、传感器观测方式、业务需求等因素来选配和集成。

走航式海洋观测平台可以配置显控模块进行现场显示和控制，也可通过通讯系统，由数据中心进行远程遥测。观测平台从航次起点开始运行，抽样系统不断将样品抽进，同时数据采集系统根据采样周期进行数据采集，并将数据实时发送至数据遥测中心，不间断地获取高时空分辨率的数据直至航次结束。

1.2 结构设计

针对船舶走航观测应用环境，设计的走航式海洋观测平台结构示意图如图 2 所示。其设计思路是在船舶行驶过程中，将海水抽取到预处理仓中，经过去气泡和排沙处理后，串联(或并联)进入不同的测量仓，进行走航观测。

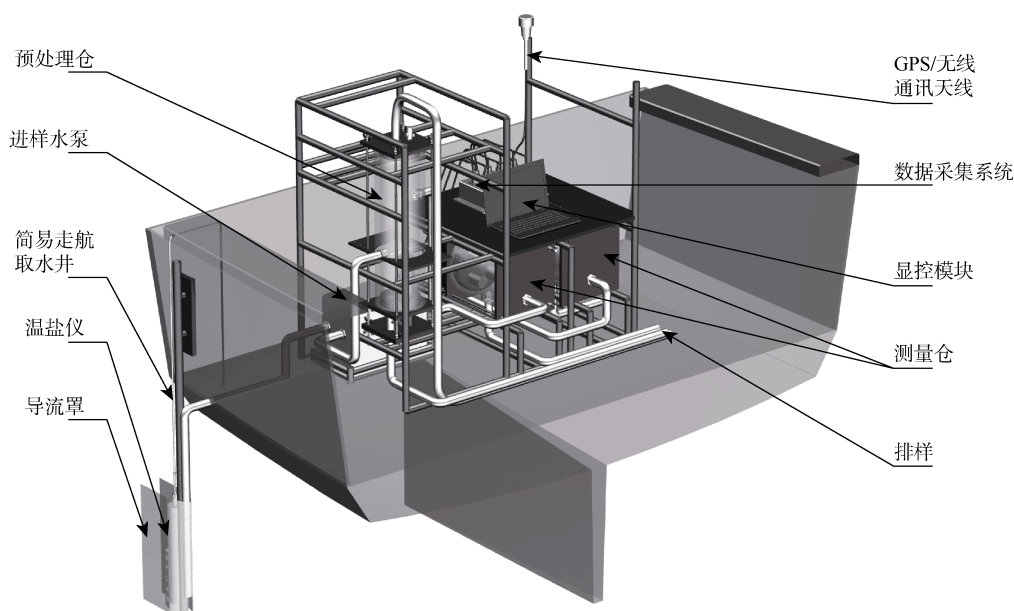


图 2 走航式海洋观测平台结构设计示意图
Fig. 2 Ship-borne marine-monitoring platform

1.2.1 简易走航取水井设计

在船舶湿实验室没有接入洁净海水、或船舶没有通海井、或不适合使用通海井抽取海水的情况下，可设计在船舷处安装简易走航取水井，直接抽取水面以下 1~2m 处的海水，用于走航测量。为监测抽水水泵长时间工作可能带来的水样温度改变，可在水下的取水口处安装温度传感器，提供准确水温，并和测量舱内监测的水温进行比对。为避免大颗粒进入进样管路后堵塞管路，水下的进样口需要安装过滤装置。如果简易走航取水井在船舶航行时所受阻力过大，可考虑增加导流罩减小阻力，避免高航速走航观测时损坏简易走航取水井。导流罩需采用蜂窝状透水结

构，确保导流罩内外水体流通。

图 3 所示为排水量 1000t、航速 11 节 (1 节 = 1 海里·h⁻¹ ≈ 1.852km·h⁻¹) 的海洋调查船安装的简易走航取水井的实物照片。“L”形的钢管由安装架固定在船舷上，非走航观测时水平固定在船舷外。走航观测时，进样管路穿过钢管至底部，安装过滤装置后紧固在钢管底部，通过手动葫芦向航行方向拉紧安装于钢管底端锚点的钢丝绳，使钢管紧固在卡口内。

1.2.2 预处理仓和测量仓设计

如图 4 所示，抽取的海水进入预处理仓，进行去气泡和排沙处理后，串联(或并联)进入不同测量

仓。预处理仓和测量仓的仓体均设计为透明圆柱状, 仓体采用透明的有机玻璃加工, 上下水密端盖采用耐磨的黑色工程塑料加工, 端盖侧面开槽安装“O”形圈, 采用轴向密封的方式进行水密。预处理仓使用时为垂直安装, 大颗粒杂质经过沉淀后从

底部排样口排出, 抽水过程产生的微小气泡从顶部排出, 进样口位于仓体总高约 $2/3$ 处, 取样口位于仓体总高约 $1/3$ 处, 温盐仪的感应探头位置和取样口平齐, 排气口、排样口、取样口安装手动水阀或电子水阀, 用于进行流速控制。

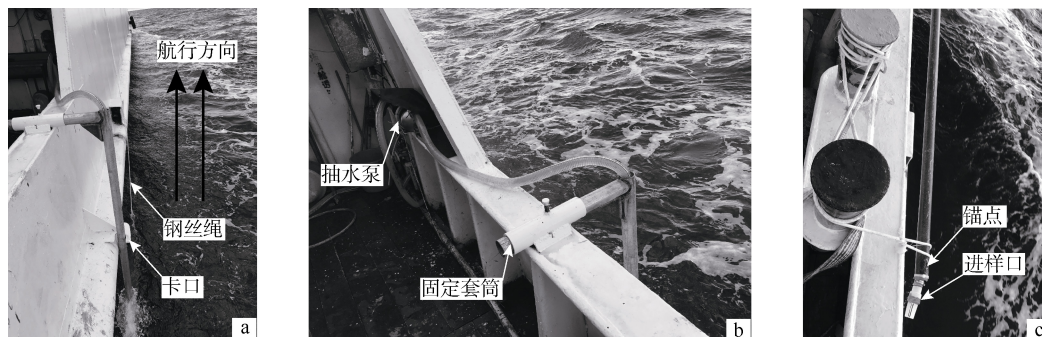


图3 简易走航取水井实物照片

a. 走航观测时简易取水井侧面照片; b. 走航观测时简易取水井顶部照片; c. 非走航观测时固定在船舷的照片

Fig. 3 Simple sampling devices. (a) Side view of the sampling device during cruise; (b) top view of the sampling device during cruise; and (c) devices fixed on the side of the ship during non- cruise

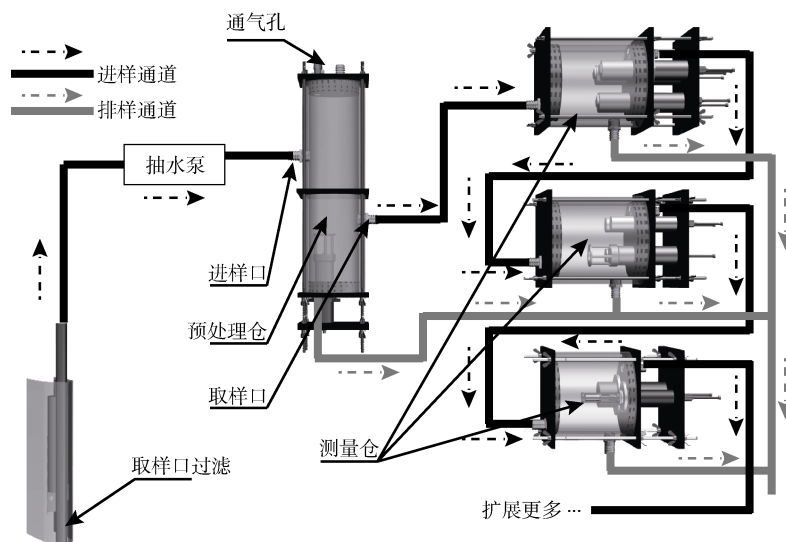


图4 进样系统水样流向示意图

Fig. 4 Sample flow direction of the sampling system

测量仓用作各类传感器的测量样品池, 需依据不同传感器的尺寸、测量原理定制设计。图5所示为不同类型的测量仓体的设计示例, 虽各有不同, 但设计思想是一致的。均由水密端盖、透明柱状仓体、端盖安装连接杆、传感器保护板和传感器水密螺栓组成。安装使用时为水平安装, 样品从左端端盖底部进入, 右端盖顶部流向下一级测量仓, 透明仓体底部排水口用于杂质和样品排出。传感器安装于水密端盖上, 端盖根据不同传感器尺寸, 加工相应的孔位, 通过水密螺栓压缩“O”形圈进行水密。传感器探头浸没在测量仓内部, 另一端裸露在

外部且受保护板保护免受破坏, 通过水密插座和水密线缆与数据采集系统相连。

1.3 数据采集系统设计

数据采集系统基于工控计算机设计, 运行嵌入式系统, 如图6所示。核心设计思想是采用多线程、多缓存管理技术, 实现多传感器同步实时观测。设计控保模块, 监控系统运行状态, 保证系统高可靠性工作; 建立驱动库, 将仪器的集成工作标准化, 库内仪器设备不需专门集成, 可即连即用, 通过不断完善驱动库, 满足多种、多类、多学科的走航观测需求。

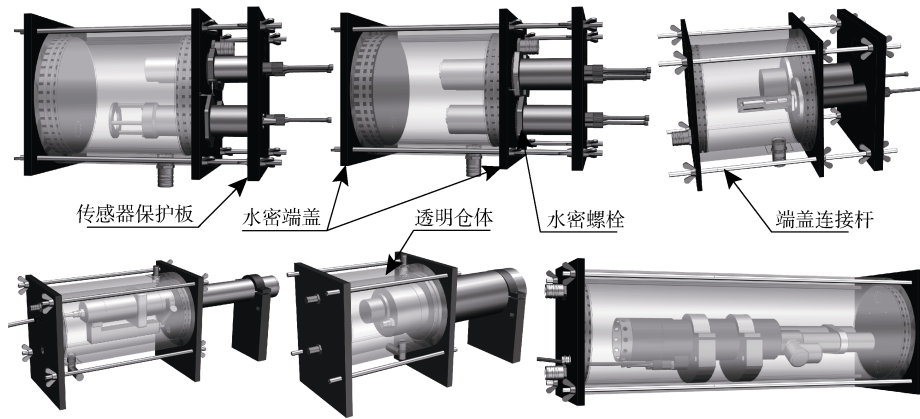


图 5 不同类型测量仓的结构示意图

Fig. 5 Structure diagram showing different types of measurement warehouse

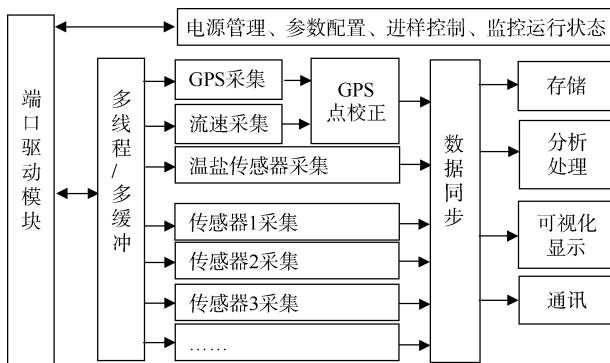


图 6 数据采集系统软件原理框图

Fig. 6 Block diagram for data acquisition system software

1.4 远程遥测系统设计

远程遥测系统主要由远程遥测中心、4G/卫星二合一收发系统和多套走航式海洋观测平台节点组成,如图 7 所示。当走航式海洋观测平台在近海、湖泊和江河作业时,数据采集系统将采集到的数据进行打包压缩,优先使用 4G 信号将数据传送到远程遥测中心;当观测平台在远洋作业时,4G/卫星二合一模块自动选择卫星传输模式进行数据传输。远程遥测中心负责管理多个走航式海洋观测平台节点,并对数据进行存储、预处理、显示和分析。

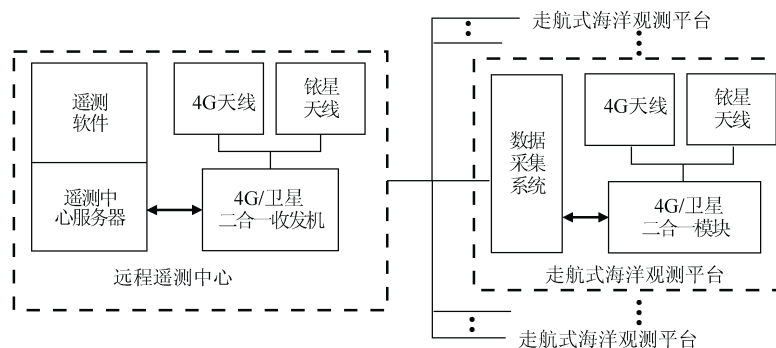


图 7 远程遥测系统原理框图

Fig. 7 Block diagram for remote-telemetry system

2 应用实例

2016 年 8 月 24 日至 8 月 25 日,在广东大亚湾水域,使用渔船(船型: 16.95m × 5.9m, 排水量约 75t)进行了为期两天的近海走航观测试验。搭载传感器有: CTW、CTD、ECO-BLUE、ECO-CDOM、ECO-CHL、ECO-TRIPLET、FLU-BLUE、FLU-CDOM、FLU-CHL、SEABIRD-PH、SUNA、WS600 气象站。其中气象站安装在船顶层甲板无遮挡位置,通过线缆连接至数据采集系统。其余传感器安装在不同类型测量仓中,通过水密线缆连接至数据采集系统,获取了海水温度、盐度、CDOM、pH、叶绿素、浊度、蓝藻、硝酸盐、大气湿度、气温、气压和风速等参数共计 210258 组数据。其近海走航试验照片如图 8a 所示,近海走航路线如图 8b 所示。2016 年 11 月 19 日至 12 月 26 日,搭乘中国科学院南海海洋研究所“实验 3”号科学考察船,从广州新洲码头赴马里亚纳海沟,针对珠江口、南海和西太平洋不同水体进行了走航观测。搭载传感器有: CTW、ECO-NTU、ECO-CDOM、ECO-CHL, 安装于测量仓内,获取了海水温度、盐度、叶绿素、浊度、CDOM 等参数共计 8553600 组数据。其远海走航试验照片如图 8c 所示,远海走航路线如图 8d 所示。

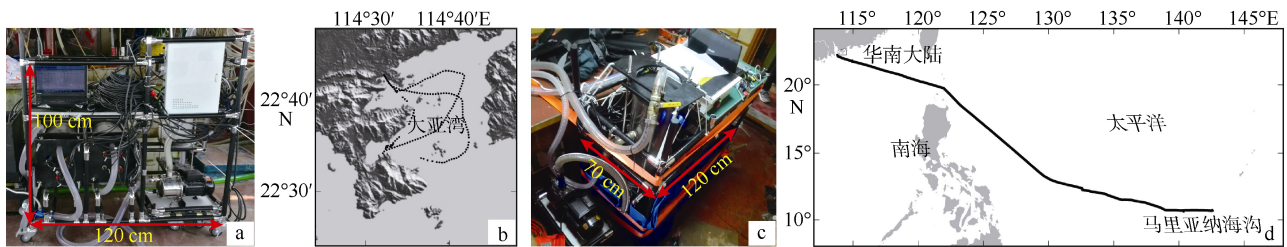


图 8 大亚湾试验和马里亚纳海沟试验

a. 走航式海洋观测平台近海走航试验照片; b. 近海走航路线图; c. 走航式海洋观测平台远海走航试验照片; d. 远海走航路线图

Fig. 8 Daya Bay Test and Mariana Trench Test. (a) Offshore ship-borne test photo; (b) offshore sailing track; (c) open-sea ship-borne test photo; d. open-sea sailing track

图 9a 显示了大亚湾海域近 6 个小时的硝酸盐氮和 pH 的走航数据。体现了大亚湾水体夏季的特征, 图 9b 和图 9c 显示了从珠江口出发, 经南海到达西太平洋马里亚纳海沟的表层海水的温盐走航

数据, 体现了珠江口河口淡水逐渐过渡到西太平洋大洋水体的温盐特征。走航获取的高空间分辨率的数据, 能够更有效地用于研究和验证海洋数值模型、水色遥感反演、生物光学算法等问题。

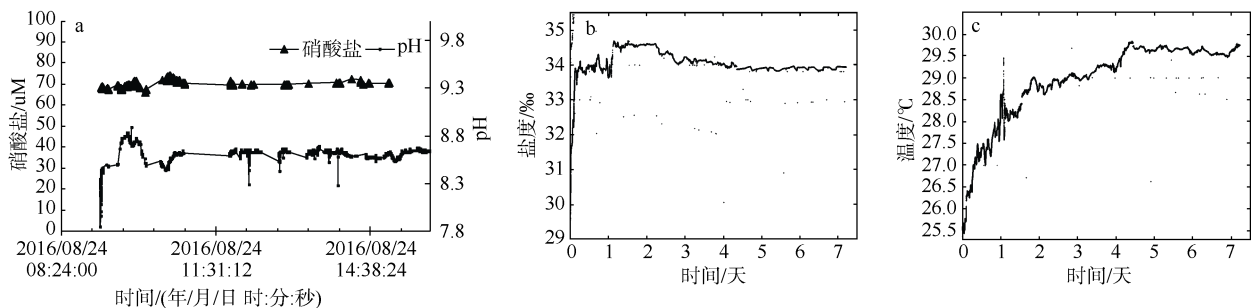


图 9 数据结果

a. 近海走航获取的部分硝酸盐和 pH 数据; b. 远海走航获取的前七天盐度数据; c. 远海走航获取的前七天温度

Fig. 9 Data collected. a) Part of nitrate and pH data obtained from offshore sailing; b) first seven days of salinity data obtained from an open-sea sailing; c) first seven days of temperature data obtained from an open-sea sailing

3 结论

本文设计了具备远程遥测功能的全自动海洋监测平台。通过大亚湾海域近海走航试验, 以及从珠江口出发, 经南海到达西太平洋马里亚纳海沟远海走航试验, 表明本系统能够无人值守、采用走航观测方式

自动获取高时空分辨率的海洋监测数据。如果本系统搭载于轮渡、渔船等非科考船, 利用其航线资源, 用走航观测的方式, 可以高效地获取更大的空间和时间尺度的实时大数据, 那么在现有海洋技术条件下, 可为解决海洋观测数据缺乏的问题, 提供一种技术手段。

参考文献 References

- 崔洪渊, 李欣, 2004. 船载海洋生态环境现场监测集成示范系统硬件平台设计[J]. 中国海洋大学学报, 34(2): 313–317. CUI HONGYUAN, LI XIN, 2004. Design of the hardware platform of a shipborne integrated system[J]. Journal of Ocean University of China, 34(2): 313–317 (in Chinese with English abstract).
- 侯朝伟, 唐诚, 邹涛, 等, 2017. 基于 FerryBox 的渤海海峡水质低成本长期自动监测[J]. 海洋科学, 41(5): 59–70. HOU CHAOWEI, TANG CHENG, ZOU TAO, et al, 2017. Long-term and low-cost automatic monitoring of water quality in the Bohai Strait using FerryBox[J]. Marine Sciences, 41(5): 59–70 (in Chinese with English abstract).
- 上海海洋科技研究中心(筹), 海洋地质国家重点实验室(同济大学), 2011. 海底观测—科学与技术的结合[M]. 上海: 同济大学出版社: 1–272. Shanghai Center of Marine Science & Technology (Preparatory Office), State Key Laboratory of Marine Geology of Tongji University, 2011. Seafloor observation—Science and Technology[M]. Shanghai: Tongji University Press: 1–272 (in Chinese with English abstract).
- 汪品先, 2011. 海洋科学技术协同发展的回顾[J]. 地球科学进展, 26(6): 644–649. WANG PINXIAN, 2011. Coupled development in marine science and technology: a retrospect[J]. Advances in Earth Science, 26(6): 644–649 (in Chinese with English abstract).

- CACCHIONE D A, STERNBERG R W, OGSTON A S, 2006. Bottom instrumented tripods: History, applications, and impacts[J]. *Continental Shelf Research*, 26(17–18): 2319–2334.
- CURTIN T B, BELCHER E, 2008. Innovation in oceanographic instrumentation[J]. *Oceanography*, 21(3): 44–53.
- DETRICK R, FRYE D, COLLINS J, et al, 2000. DEOS moored buoy observatory design study[R]. Woods Hole: National Science Foundation/Ocean Science Division: 1–98. http://oceanobservatories.org/wp-content/uploads/2012/04/DEOS_Moored_Buoy_Ocean_Observatory_Design_Study_2000-08_ver_1-00.pdf
- DICKEY T D, ITSWEIRE E C, MOLINE M A, et al, 2008, Introduction to the *Limnology and Oceanography* special issue on autonomous and Lagrangian platforms and sensors (ALPS)[J]. *Limnology and Oceanography*, 53(5 Part 2): 2057–2061.
- FISHER A T, WHEAT C G, BECKER K, et al, 2005. Scientific and technical design and deployment of long-term seafloor observatories for hydrogeologic and related experiments, IODP Expedition 301, eastern flank of Juan de Fuca Ridge[C]//FISHER A T, URABE T, KLAUS A. *Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program Integrated Ocean Drilling Program*. College Station, TX: Management International, Inc: 301: 2. http://www.iodp.tamu.edu/301/EXP_REPT/CHAPTERS/301_103.PDF
- GLASGOW H B, BURKHOLDER J M, REED R E, et al, 2004. Real-time remote monitoring of water quality: a review of current applications, and advancements in sensor, telemetry, and computing technologies[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 300(1-2): 409–448.
- HYDES D J, KELLY-GERREYN B A, COLIJN F, et al, 2009. The way forward in developing and integrating ferrybox technologies[C]//HALL J, HARRISON D E, STAMMER D. *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society*. Venice, Italy: ESA, doi: 10.5270/OceanObs09.cwp.46.
- JANNASCH H W, COLETTI L J, JOHNSON K S, et al, 2008. The Land/Ocean Biogeochemical Observatory: A robust networked mooring system for continuously monitoring complex biogeochemical cycles in estuaries[J]. *Limnology and Oceanography: Methods*, 6(7): 263–276.
- MARTIN S, 2014. *An introduction to ocean remote sensing*[M]. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1–496.
- MCPHADEN M J, BUSALACCHI A J, CHENEY R, et al, 1998. The tropical ocean-global atmosphere observing system: a decade of progress[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 103(C7): 14169–14240.
- PERRY M J, RUDNICK D L, 2003. Observing the ocean with autonomous and Lagrangian platforms and sensors: the role of ALPS in sustained ocean observing systems[J]. *Oceanography*, 16(4): 31–36.
- WELLER R, TOOLE J, MCCARTNEY M, et al, 2000. Outposts in the Ocean[J]. *Oceanus*, 42(1): 20–23.