

浅海坐底式海洋环境监测系统开发应用及其回收方法研究

陈永华, 胡贺岗, 刘庆奎, 姜 斌, 李晓龙

(中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071)

摘要: 首先概述了坐底式海洋环境监测系统的发展历程、结构组成、工作原理和系统功能等。设计开发了一套浅海坐底式海洋环境监测系统, 并在北黄海海域进行了长时间应用。对其结构组成特点、原理功能和实际应用情况等进行了详细阐述, 并结合一段时间的监测数据, 说明其可为海洋科学研究、海水养殖与海洋工程等提供基础数据。对坐底式海洋环境监测系统的布放与回收方法进行介绍, 针对近海经常出现无释放器或释放器失灵的坐底式海洋环境监测系统, 且潜水员或作业型水下机器人 (ROV) 不方便下潜系统的情况, 设计了一种实操性强的打捞回收方法。总结归纳了所设计的浅海坐底式海洋环境监测系统特点及回收方法, 可为相关应用与研究提供参考借鉴。

关键词: 洋监测系统; 浅海; 坐底式; 海底观测网节点; 结构组成与工作原理; 回收方法

中图分类号: P715.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2020)07-0201-07

DOI: 10.11759/hyxx20200208002

坐底式海洋环境监测系统, 又称为海床基观测系统, 是以布放在海底的坐底式平台为依托, 集成多种海洋环境监测设备或传感器, 获取多类海洋环境要素的监测系统^[1]。可对海洋环境进行定点、长期、连续、隐蔽的多要素监测, 在海洋环境监测方面获得了广泛应用, 被称为第三观测平台。其以相对安全和准确的方式为物理海洋、海洋地质、海洋生态和海洋生物等海洋学研究提供第一手资料, 并可为海水养殖和海洋工程等提供基础数据支撑, 它应用广泛, 其用途取决于所搭载的传感器设备, 根据不同的观测需求, 可集成如下仪器/传感器: (1)物理海洋类: 海水温盐深仪、浊度仪、海流计、波浪仪等。(2)物探观测类: 海底重力仪、磁力仪、地震仪、海啸传感器等。(3)生物化学类: 叶绿素仪、溶解氧仪、pH 计、CO₂ 仪、甲烷仪、营养盐仪、H₂S 传感器等。(4)其他: 图像、视频等。坐底式海洋环境监测系统主要有两种形式: 独立的坐底式海洋环境监测装置和海底观测网络节点, 独立的坐底式海洋环境监测装置是单个平台装置集成观测设备进行观测; 而构成海底观测网络节点的坐底观测系统是海底观测网的一个观测点和中转站, 其除了具有观测功能外, 还负责数据的传输中转和能量的传递等。

国际上经过近几十年的不断发展, 独立的坐底式海洋环境监测平台形成了多个产品, 如美国 Oceanscience 公司、英国 Mooring System 公司、意

大利 PROTECO SUB 公司、美国 Approtekmooring 公司、法国 Technicap 公司和美国 Flotec 公司等, 都拥有各具特色的坐底式海洋环境监测平台产品^[2-3]。国内经过近 30 年“863”计划、国家科技攻关计划和各部委装备研发计划等项目的支持, 部分海洋单位也积累了一些坐底式海洋环境监测系统技术。国家海洋技术中心在 20 世纪 90 年代末(“九五”863 支持)开始研发“海床基海洋环境自动监测系统”, 2000 年以后不断改进, 所制作的坐底式海洋环境监测平台具备了防拖网、环境适应性强等特点^[4]。其后, 中国科学院海洋研究所、自然资源部第一海洋研究所、中国海洋大学和国家海洋环境监测中心等国内涉海单位分别针对不同研究与应用需求, 设计开发了坐底式海洋环境监测系统^[5-7]。

深海型坐底式海洋环境监测系统一般体积比较庞大, 可以搭载更多的监测传感器, 进行海底综合性长期连续观测。深海多数情况下没有底拖网, 因此深海型坐底式海洋环境监测系统一般不设计防拖网

收稿日期: 2020-02-08; 修回日期: 2020-03-24

基金项目: 科技部重点研发计划项目课题(2016YFC1402602, 2017YFC1403406); 中国科学院科研装备研制项目(YZ201522, YZ201625) [Foundation: Key Research and Development of Science and Technology Program, No. 2016YFC1402602, No. 2017YFC1403406; Major Scientific Research Equipment R & D Projects of Chinese Academy of Sciences, No. YZ201522, No. YZ201625]

作者简介: 陈永华(1976-), 男, 山东枣庄人, 博士, 研究员, 主要从事海洋装备研发与系统集成技术研究, E-mail: chen Yonghua@qdio.ac.cn

功能。国际上深海坐底式监测系统的研制和应用起源于 20 世纪 70 年代, 美国在 20 世纪 70 年代至 90 年代开发了多种不同用途的深海自动监测平台系统。20 世纪 90 年代以后, 随着美国海底网络观测站计划 NEPTUNE 的实施, AUV 等新一代技术装备和深海海底监测平台获得了广泛发展和应用, 但相对于 AUV 技术, 由于深海坐底式监测系统具有制作成本低、使用方便和观测针对性强等特点, 其应用仍然位于举足轻重的位置。20 世纪 80 年代末, 欧洲的英国、德国、法国、意大利等国家在本国或欧洲共同体科研经费支持下相继开展了深海坐底式监测系统的研制, 其中 20 世纪 90 年代具有代表性的系统有英国与丹麦合作研制的用于深海海底地球化学和生物研究的 BENBO 系统^[8]; 德国 GEOMAR 研制的用于海底天然气水合物和海底热液调查的综合海底观测系统 VESP; 法国 IFREMER 研制的模块化深海海底观测系统; 以及由欧洲共同体合作研制的海底综合观测系统 GEOSTAR 等, 其中 GEOSTAR 现在已经发展了若干代, 性能不断提高。

国内中国科学院海洋研究所和中国海洋大学等单位研制了多款深海型坐底式海洋环境监测系统。2006 年, 中科院海洋所研制了坐底式海洋环境监测系统——海底沙棘沙波原位监测系统, 此系统架体长宽高大约都为 2 m, 系统集成海底多普勒流速双向(上下)剖面仪, 浪潮仪, 精密高度计, 光学透射仪, 光学后反射仪, 倾斜仪, 水下视频采集系统, 水下定标和水面信标以及相应的高精度时钟, 自动定时加电控制系统, 数字采集与记录系统及可充电式大容量锂电池组等; 同时系统配有声通讯释放设备^[9], 可以对水体剖面流速、近海底剖面流速、近海底剖面浊度、观测海域浪潮以及光学颗粒参数等进行观测, 并能定时进行水下摄像和照相, 从而得到特殊海洋环境下海底地形运动和迁移规律等海床动力特性, 进而揭示其与结构物的相互影响和作用规律。该系统于 2007 年在南海北部湾海域进行了 8 个多月的测试性应用, 获取了详实的第一手多要素资料, 其结果为海上平台、海底管线等的设计和运营提供科学依据和安全保障。截至目前, 该系统还可正常定期进行观测应用。

中国海洋大学在国家“863”计划的支持下, 于 2009 年成功研制的一个可移动的自容式深海海底边界层原位监测装置(简称 Benvir)^[8, 10]。该装置采用模块化设计, 可集成一系列自容式监测传感器, 如甲

烷传感器、二氧化碳仪、溶解氧仪、pH 计、CTD、浊度计, 以及声学多普勒流速剖面仪(ADCP)和声学多普勒海流仪(ADV)等, 具备长期、定点、连续和原位观测特性, 最大应用深度达 4 000 m, 具有开展深海海底边界层生物地球化学研究的广阔应用前景。

基于海水规模化养殖和海洋科学研究需要长期观测数据支撑的需求, 中国科学院海洋研究所设计开发了一套浅海坐底式海洋环境监测系统, 并与獐子岛集团股份有限公司合作, 在北黄海海域进行了长时间海上应用。对其结构组成特点、原理功能和实际应用情况等进行了详细阐述; 并在实际维护过程中, 摸索总结了一种实操性强的打捞回收方法。

1 小型浅海坐底式海洋环境监测系统结构设计及系统开发

坐底式海洋环境监测系统主要由海底观测平台及其搭载的观测传感器组成。海底观测平台一般由支撑架体、密封舱体、保护装置和回收装置等构成。支撑架体是系统的支撑, 要满足如下基本条件: (1)具有良好的设备搭载和扩充功能: 可根据不同的观测需求搭载不同类型的海洋观测传感器, 这就要求支撑架体有一定的负载能力, 同时拥有合适的传感器设备安装位置等; (2)保证传感器的测量精度: 基于安全考虑, 观测设备一般位于支撑架体内部, 要保证测量的准确度, 除了传感器自身具有较高的精度外, 还要保证其可与被测对象或要素充分接触, 以便能够实现相关要素的精准测量; (3)具有耐腐蚀和防生物附着的特性: 由于支撑架体要长时间(可能数年)持续在海上工作, 这需从材料的选择和防护方法上予以考虑; (4)稳性要好: 由于系统可能会在大海流作用下工作, 为了保证其在布放过程中和工作过程中不致歪倒, 要求其重心低, 稳定性好, 针对近海应用, 低矮的结构特点在一定程度上能起到防拖网的作用。密封舱体承装电池和采集控制装置, 起到供电和数据采集与通信控制的作用。海床基的安全保障系统上通常包括防材料腐蚀、防生物附着、防渔民拖网和防泥沙淤积等。布放回收系统中海床基的布放通常有两种方式: 吊装方式布放和依靠自身重力布放, 回收则分为无释放器式、释放器分体式 and 释放器一体式等^[7]。

图 1 是我们设计适用于近海环境的一款小型浅海坐底式海洋环境监测系统。

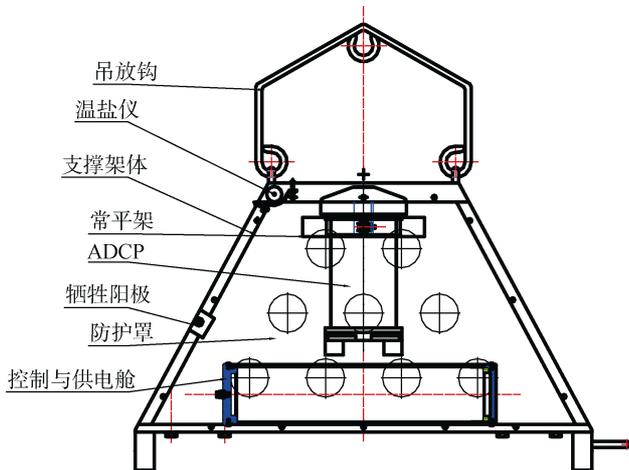


图 1 中国科学院海洋研究所设计的浅海小型坐底式海洋环境监测系统

Fig. 1 Offshore seabed-based observation system designed in the Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences

此系统所设计的技术指标见表 1。

表 1 浅海小型坐底式海洋环境监测系统技术指标
Tab. 1 Technical parameters of the offshore seabed-based observation system

指标名称	指标值
外形尺寸	1.2 m × 1.2 m × 0.9 m (不含吊放钩)
工作水深	3~200 m
供电能力	10 kWh
海上可连续工作时间	1 a
负载能力	>100 kg
寿命	≥10 a

此系统主要用来进行剖面海流和温盐等海洋动力要素的监测, 根据需要搭载了声学多普勒剖面流速仪(ADCP)和温深仪(TD)等观测设备, 由优质不锈钢材料制作成了低矮的四棱台支架装置, 并且根据观测的需要, 将 ADCP 放置在常平架上, 以保证其观测姿态, 和温盐仪的固定夹等共同构成了此坐底式海洋环境监测系统的支撑架体。四棱台支架的四侧面安装防护板, 以防流网等侵入, 架体喷刷防生物附着和防海水腐蚀的复合油漆, 并加牺牲阳极, 予以防腐, 同时架体上表面安装信标, 架体四个角安装支腿, 底部安装密实的底板, 以防淤泥进入架体, 上述部件构成此坐底式海洋环境监测系统的安全保障防护装置。供电通信装置放置在同一个密封舱内, 并将密封舱放置在架体内侧底部。吊放钩用来进行系统的布放, 并且吊放钩在系统布放完成后, 会自动躺倒, 不会影响其下面 ADCP 的观测, 架体右侧

底部有孔鼻, 用于系留回收缆绳, 这些是此系统的布放回收装置。具体实物如图 2 所示。



图 2 浅海小型坐底式海洋环境监测系统实物图

Fig. 2 Picture of the small, bottom-mounted instrument designed

2 小型浅海坐底式海洋环境监测系统的应用

坐底式海洋环境监测系统具有原位、长期、连续、不受海况和天气影响、数据质量高、可多要素同步观测等技术优势。如上装置, 我们搭载了物理海洋类的探测仪器: 300 kHz 声学多普勒剖面流速仪(ADCP)和温深仪(TD), ADCP 设置采样频率为 1 次/h, 采样分层是 2 m/层; TD 采样频率为 1 次/10min, 每次获取 10 个样本(每个样本间隔 1 s), 将其布放于北黄海獐子岛附近海域, 该海域为泥质海底, 并且北黄海海流和水团结构复杂, 受冷水团影响明显, 在冬季有可能受黄海暖流的影响, 北黄海尤其是獐子岛海域是我国重要的海珍品养殖基地之一, 也是我国最大的虾夷扇贝的养殖基地, 开展长期连续观测研究意义较大。此系统在该海域布放应用了数年, 一般持续工作数月后, 对系统进行回收, 读取数据和更换电池, 并对设备进行清理, 而后再将系统布放原位继续进行工作。此种方式的维护, 一般在海上直接进行, 节约了船时, 并有利于获取连续的观测数据。截取一个半月的数据曲线如图 3 所示。

通过数据图可以明显看出该海域潮流和潮差变化情况, 以及海底温度随时间的变化情况。另外, 经过严格的数据筛查检验, 数据获取率和完好率均超过 99%, 为开展相关研究和海水养殖等提供了数据支撑。

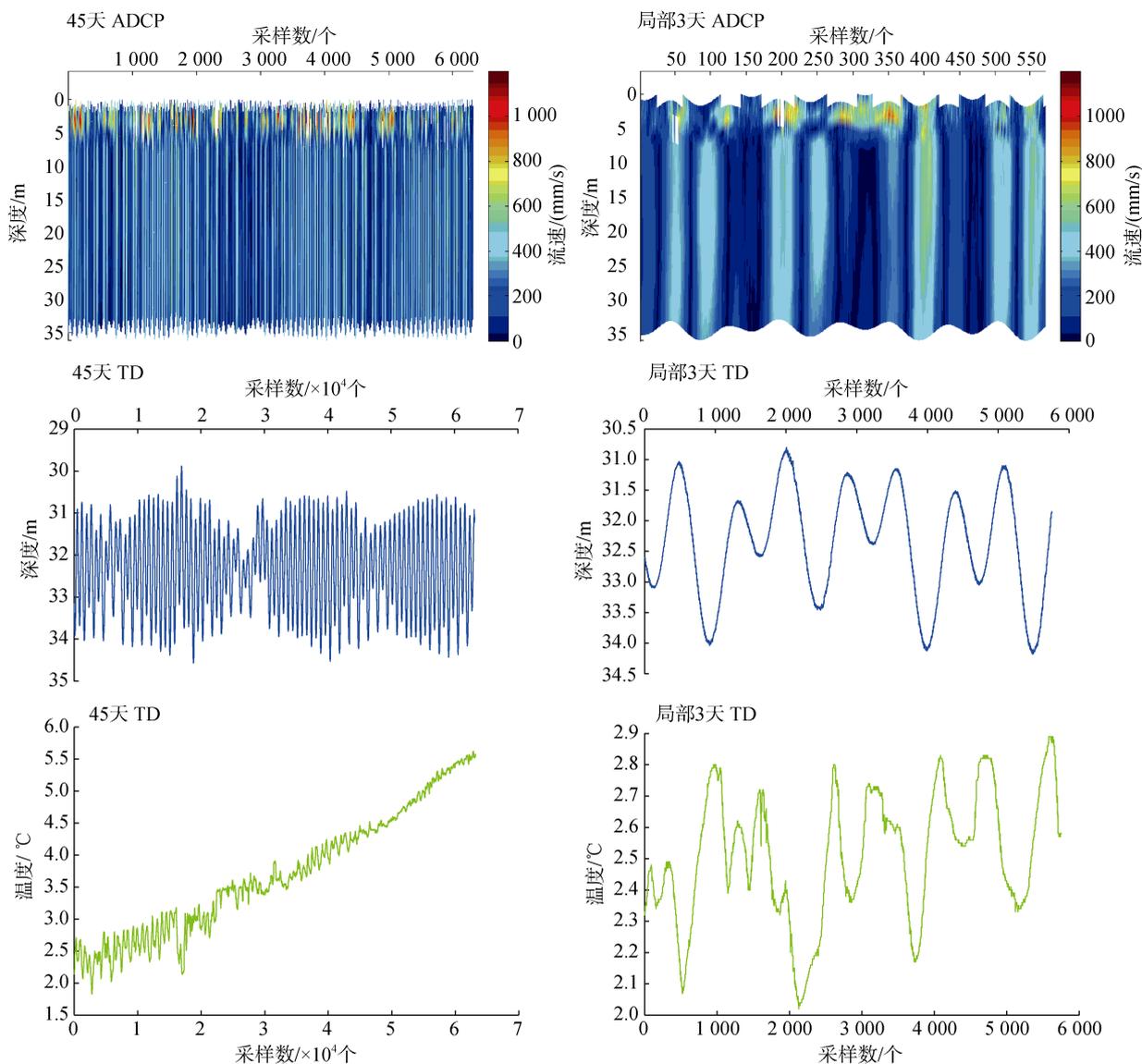


图3 浅海小型坐底式海洋监测系统获取的部分数据
Fig. 3 Partial data obtained by the instrument

3 回收方法

坐底式海洋环境监测系统若本身带有声学释放器,并且释放器本体和辅助连接机构可以有效工作,则其回收相对简单,直接进行释放回收即可。但若系统本身不带释放器,或者释放器失效(包括其连动释放装置失效),又或者有渔网缠绕等,此时,系统就无法自动上浮海面(如图4所示)。

图4中,坐底式海洋环境监测系统中的观测平台、观测设备和释放器等均被流网与废网等缠绕在一起,虽然两套释放器均已释放,但因被渔网牢牢裹住,造成了永久性失浮。另外,由于水深等原因,

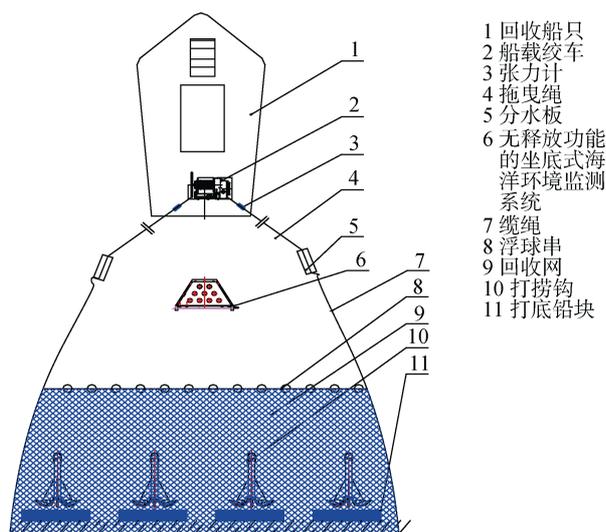
潜水员无法下潜系缆,若采用作业型ROV下潜打捞则需要专门的作业船只配合,作业型ROV和配套船只的租赁费用昂贵。基于此,我们设计了一种实操性强的回收方法。

如图5所示,该方法使用的装置包括回收船只和托底装置,其中托底装置包括张力计、拖曳绳、分水板、浮球串、回收网、打捞钩、打底铅块及缆绳等,拖曳绳的一端缠绕在安装于回收船只的绞车上,拖曳绳的另一端连接于分水板的一端,该分水板的另一端通过缆绳与打捞回收网侧边相连。打捞回收网的底部连接有打底铅块,顶部连接有浮球串,以使其在水中张开。同时,该回收网上悬挂固定有若



图4 南海布放的坐底式海洋环境监测系统被渔网缠绕情形

Fig. 4 Fishing nets entangled on a bottom-mounted marine environmental monitoring system deployed in the China South Sea



- 1 回收船只
- 2 车载绞车
- 3 张力计
- 4 拖曳绳
- 5 分水板
- 6 无释放功能的坐底式海洋环境监测系统
- 7 缆绳
- 8 浮球串
- 9 回收网
- 10 打捞钩
- 11 打底铅块

图5 无释放功能的坐底式海洋环境监测系统回收

Fig. 5 Recovery of bottom-mounted marine environmental monitoring system without release

数个打捞钩。拖曳绳上靠近回收船只的一端安装有张力计，以便观察拖曳网水中张力情况。

具体实施过程如下：根据无释放功能的坐底式海洋环境监测系统所布放的坐标位置，回收船只运载托底装置行驶至距坐标位置设定距离(一般选择100~300 m)时，将托底装置投放入海，回收网底部在打底铅块的作用下沉在海底，顶部在浮球串的作用下浮于海面或海水中，回收网通过拖曳绳、分水板及缆绳的作用而张开，张开宽度可以达到100 m以上，甚至能到300~500 m。然后，回收船只拖动托底装置驶向无释放功能的坐底式海洋环境监测系统的上方，经过无释放功能的坐底式海洋环境监测系统后再行驶一定距离，以保证回收网经过待回收装置。在行驶过程中观察张力计的示数变化情况，在设定时间内，若张力计的最大值与最小值之差大于阈值，

证明回收网或回收网上的打捞钩拖住了无释放功能的坐底式海洋环境监测系统，从而利用船上绞车将此系统回收上来。否则，回收网或回收网上的打捞钩未拖住无释放功能的坐底式海洋环境监测系统，则需调转回收船只的行驶方向，重新经过无释放功能的坐底式海洋环境监测系统上方，如此反复，直到观测到张力计的最大值与最小值之差大于阈值，钩住无释放功能的坐底式海洋环境监测系统，再利用绞车完成回收。此法在泥质或沙质等相对平坦的海底易于实现，且简单可靠。

4 总结展望

截止目前，我们制作了分别适用于近远海环境的3种不同类型坐底式海洋环境监测系统，且均开展了较长时间实际观测应用，如图1或图2所示的坐底式海洋环境监测系统，于2009年制作完成，在北黄海獐子岛附近海域已连续应用超过6年，但因渔船拖网丢失。针对在长期的近海应用过程中，发生的渔网缠绕和释放器失灵等特殊情况，探索出一种实操性强的打捞坐底式海洋环境监测系统的方法：回收船只通过缆绳和分水板将回收网在海底张开，航行穿过无释放功能的海床基观测系统，回收网上分布了打捞钩，如海床基观测系统上有挂钩的地方，基本一次通过就可以将海床基观测系统挂到打捞钩上，从而拖带上船完成回收。通过多次实践证明，此方法效率较高，且以小型渔船等船只为依托，配合托底装置，易于实现、成本低，以简约的方式实现了对打捞，无需专业重潜装置或作业型ROV(遥控无人潜水器)装置。

随着原位监测传感技术、海洋实时通信技术和物联网技术的不断发展，坐底式海洋环境监测系统在小型化和高集成度发展的趋势上，向着实时化方

向发展, 具有广泛的用途。未来将在坐底式海洋环境监测系统中增加海面通讯单元, 以实现观测数据的实时传输, 为构建海洋物联网提供帮助。随着国家海洋战略的逐步推进, 我国坐底式海洋环境监测技术也将获得快速发展和广泛应用。

参考文献:

- [1] HY/T135-2010, 海床基海洋环境自动监测平台系统[S].
- [2] 于凯本, 刘珂. 国外抗拖网海床基技术现状与进展[J]. 气象水文海洋仪器, 2013, 30(2): 116-119.
Yu Kaiben, Liu Ke. Technical status and development of trawl resistant bottom mount abroad[J]. Meteorological Hydrological and Marine Instrument, 2013, 30(2): 116-119.
- [3] 李慧青, 朱光文, 李燕, 等. 欧洲国家的海洋观测系统及其对我国的启示[J]. 海洋开发与管理, 2011, 28(1): 1-5
- [4] 孙思萍. 海床基海洋环境自动监测系统[J]. 海洋技术, 2000, 19(4): 1-7.
Sun Sipeng. Seabed-base marine environment automatic monitoring system[J]. Ocean Technology, 2000, 19(4): 1-7.
- [5] 中国科学院海洋研究所. 海床基自治式海洋要素垂直剖面实时测量平台装置通过验收[EB/OL]. [2012-02-03]. http://www.qdio.cas.cn/xwzx/kydt/201202/t20120203_3434340.html.
- [6] 单体坤, 杨涛, 马文良, 等. 新型多功能抗拖网海床基设计[J]. 中国海洋平台, 2018, 33(2): 16-21.
Shan Tikun, Yang Tao, Ma Wenliang, et al. Design of new type of multi-functional trawl-resistant bottom mount[J]. China Offshore Platform, 2018, 33(2): 16-21.
- [7] 胡展铭, 史文奇, 陈伟斌, 等. 海底观测平台: 海床基结构设计研究进展[J]. 海洋技术学报, 2014, 33(6): 123-130.
Hu Zhanming, Shi Wenqi, Chen Weibin, et al. Overview on the Advances in Structural Design for the Underwater Observation System: Seabed platform[J]. Journal of Ocean Technology, 2014, 33(6): 123-130.
- [8] 于新生, 阎子衿, 朱明亮, 等. 自主式深海海底溶质通量原位观测站研究进展[J]. 海洋科学, 2017, 41(6): 150-161.
Yu Xinsheng, Yan Zijin, Zhu Mingliang, et al. Review of seabed landers for monitoring solute fluxes in deep sea[J]. Marine Sciences, 2017, 41(6): 150-161.
- [9] 柏秀芳. 海床原位监测及其动力特性研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2008.
Bai Xiufang. Research on in situ monitoring and dynamic characteristics of seabed[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2008.
- [10] 赵广涛, 于新生, 李欣, 等. Benvir: 一个深海海底边界层原位监测装置[J]. 高技术通讯, 2015, 25(1): 54-60.
Zhao Guangtao, Yu Xinsheng, Li Xin, et al. Benvir: A in situ deep-sea observation system for Benthic environmental monitoring[J]. Chinese High Technology Letters, 2015, 25(1): 54-60.

Development and application of an offshore bottom-mounted marine environmental monitoring system and its recovery method

CHEN Yong-hua, HU He-gang, LIU Qing-kui, JIANG Bin, LI Xiao-long

(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Received: Feb. 8, 2020

Key words: marine monitoring system; offshore; bottom-mounted; nodes of a submarine observation network; structure composition and working principle; recovery method

Abstract: In this paper, the development process, structure, working principle, and system function of a bottom-mounted marine environmental monitoring system are presented. The offshore bottom-mounted marine environmental monitoring system was designed and developed in the Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences. The system has been operating in the North Yellow Sea for a long time. The characteristics of its structure, working principle, system function, and practical application are described in detail. Combined with the monitoring data of acoustic Doppler current profiler and temperature and depth meter, the system can provide basic data for marine scientific research, mariculture, and marine engineering. At the same time, this study introduces the layout and recovery method of the bottom-mounted marine environmental monitoring system. In particular, we describe in detail a recovery method that takes innovation and practicability into account for the situation in which the bottom-mounted marine environmental monitoring system working on the seabed does not have a releaser or the releaser fails, which often occurs offshore. Moreover, the diver or the remote operated vehicle cannot submerge and fasten the towing rope to it. This will provide support for relevant research and application. Finally, summarizing the characteristics and recovery method of the offshore bottom-mounted marine environmental monitoring system, we hope to provide reference for relevant research and application.

(本文编辑: 刘珊珊)