

船载海洋生态在线监测技术研究与应用进展

王 宁, 程长阔, 杨鹏程, 李 燕, 司惠民, 任永琴

(国家海洋技术中心, 天津 300112)

摘要: 船载海洋生态在线监测系统是海洋生态在线监测的一种重要手段。本文介绍了船载在线监测系统的组成和功能, 系统全面地论述了国内外船载在线监测系统的研究和应用现状, 重点论述了典型应用案例欧洲 FerryBox 系统的发展历程、监测方式、成果应用以及运行管理体系等, 为中国船载海洋生态在线监测技术的研究和应用提供建设性意见。

关键词: 船载; 海洋环境; 在线监测; 生态监测

中图分类号: P76 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2021)10-0133-08

DOI: 10.11759/hyxx20210105003

在线监测技术已在全球范围内多个海洋立体观测体系中得应用^[1-3], 所支持的技术包括卫星遥感、浮标阵列、海洋观测站、水下剖面、海底观测网络和科学考察船等, 提供实时或准实时的基础信息 and 产品服务, 为海洋生态与环境研究、海洋资源开发利用和军事海洋学研究等提供了资料^[4-5]。

与浮标、固定站等定点在线监测手段相比, 船载海洋生态在线监测系统(以下简称船载在线监测系统)机动性强、监测范围广, 既可用于常规定期走航监测, 获取生态区和功能区的大范围本底数据; 又可临时快速安装到小型商业船和渔船上, 用于灾害和突发事件的应急监测, 能够在海洋环境中动态地跟踪监测, 实现空间和时间上的高分辨率, 是在线监测的重要手段之一。

利用机会船和志愿船开展海洋生态在线监测的历史由来已久, 20 世纪 30 年代, Reid^[6]等首次尝试采用新研制的连续式浮游生物记录仪安装到拖船以及志愿船只上, 通过走航测量定期收集北海浮游动物和仔鱼的分布。与此同时, 挪威人使用了游轮沿挪威海岸线定期自动采集盐度和温度数据。1993 年芬兰海洋研究所(FIMR now SYKE)在 Alg@line 项目支持下, 在波罗的海开始定期采用渡轮在线监测藻类水华及营养盐分布等^[7]。随着传感器技术和集成通讯技术的发展, 船载在线监测技术在国外广泛用于业务化海洋观测、监测和科研应用等领域, 为环境监测提供预警和评价数据, 或为科学研究者提供建模所用数据, 用于对生态系统和海洋学模型的验证和测试。欧洲的 FerryBox 系统是船载在线监测技术的典型应

用案例, 世界上其他国家如澳大利亚、美国和加拿大等, 船载在线监测技术也已经得到广泛应用, 中国在近年来也逐渐开展了相关技术的研究和应用, 但同国外仍存在一定的差距。

本文系统全面地介绍国内外船载在线监测系统的研究和应用现状, 重点介绍了典型应用案例欧洲 FerryBox 系统的发展历程、监测方式、成果应用以及运行管理体系等, 为中国船载海洋生态在线监测技术的研究和应用提供建设性意见。

1 船载在线监测系统组成及功能

船载在线监测系统一般由采样系统、采集传输系统、远程数据管理软件、清洁单元、传感器/分析仪器、辅助系统等组成, 如图 1 所示。在现场无人值守情况下, 系统能够实现基于时间或地点(GPS)的水样采集、分配、过滤、测量、实时监控和数据传输全程自动化, 并实现现场及远程参数设置、工作状态监控、数据编辑分析、系统安全控制故障报警等功能。

2 国外船载监测系统研究与应用现状

2.1 欧洲船载监测系统(FerryBox)

欧洲 FerryBox 系统是欧洲全球海洋观测系统

收稿日期: 2021-01-05; 修回日期: 2021-01-27

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC1403804)

[Foundation: National Key Research and Development Program, No. 2017YFC1403804]

作者简介: 王宁(1980—), 女, 山东潍坊人, 硕士, 主要从事海洋生态在线监测技术研究, 电话: 13821282829, E-mail: wangning0825@126.com

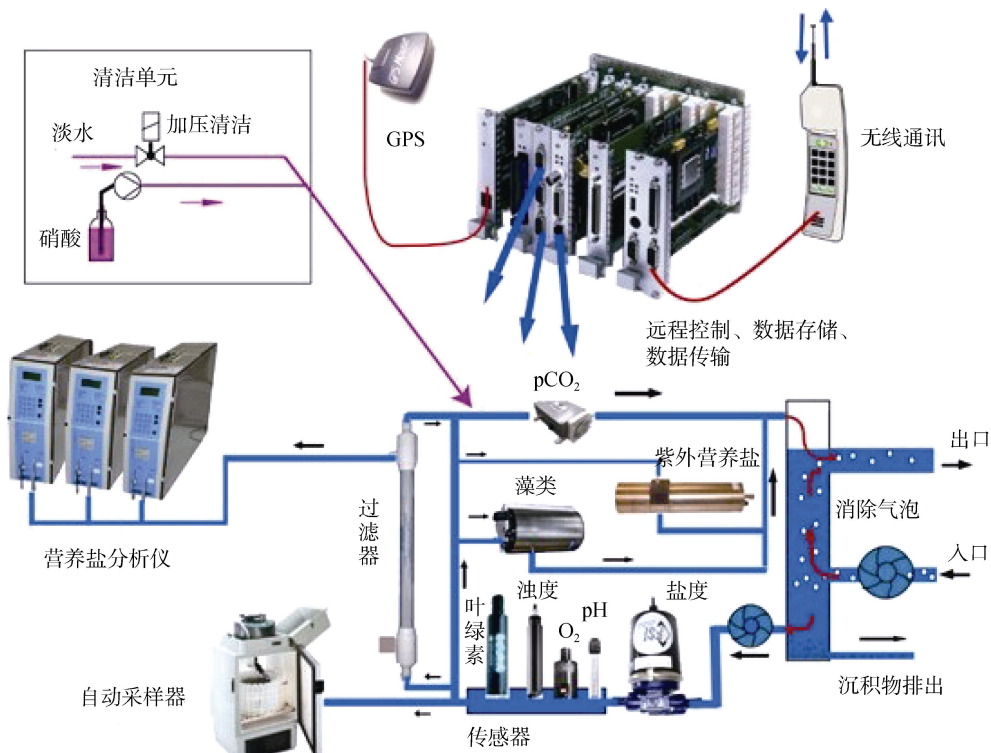


图1 船载在线监测系统的组成

Fig. 1 Composition of shipborne online monitoring system

(european global ocean observing system, EuroGOOS)7个观测部分的其中之一^[8],该系统主要基于船载观测平台运行,旨在促进欧洲海洋观测基础设施之间的科学协同和技术协作。FerryBox观测系统向横跨所有欧洲海洋区域的EuroGOOS提供欧洲海洋监测数据,也是欧洲海洋观测数据网络(european marine observation and data network, EMODnet)和哥白尼海洋环境监测服务(copernicus marine service, CMEMS)监测数据的重要来源^[8-11]。

2.1.1 FerryBox系统发展及应用情况

最初的FerryBox观测系统是由欧盟资助(2002年—2005年)^[9-10],主要在志愿船、商船及货轮安装并进行自动测量。早期由于传感器发展及维护成本的要求,FerryBox系统一般包括4个标准测量参数,即温度、盐度、溶解氧和浊度。随着传感器技术以及维护水平的发展,越来越多的传感器应用到了FerryBox系统,包括pH、二氧化碳分压、叶绿素、营养盐等^[11-14]。

在所有的FerryBox系统中,数据都记录在船上的数据记录器上。数据可以实时地发送到岸上(在有卫星连接的5~10min的间隔)或当渡船已经到达港

口时(用于GSM连接)再发送。

经过十多年的发展,FerryBox观测系统已经发展到一个成熟的阶段。主要的成果是开发了适合不同盐度、温度、叶绿素荧光、溶解氧和浊度传感器的多种流路系统,并开发了一种防止生物淤积在系统内的冲洗系统。因此,FerryBox系统在流量的堵塞、数据的收集和存储等技术细节方面现在都已经很完善,并且高度成熟。目前已经安装在客船、货船、调查船、集装箱船、滚装船、巡逻船等多种船只,在欧洲40余条航线上进行在线监测,部分仍在运行的代表性航线的监测参数及监测频率如表1所示,航线遍布英国东岸北海、大西洋、北大西洋、挪威海、波罗的海和地中海^[12-17],航线图如图2所示。

FerryBox系统获得的数据在欧洲环境监测和科学问题研究中发挥了重要作用,安装在志愿船上的FerryBox系统定期提供固定航线的高频率表层海水测量数据,包括水温和盐度在内的重要生态参数,为沿线海域尤其是为北海、英吉利海峡等海域水质模型的建立提供了基础数据,揭示水团性质的变化,并利用模型进行环境预测等^[10,14,16]。通过连续监测记录了波罗的海蓝绿藻灾害的发生或早期预警,

表 1 FerryBox 计划代表性航线监测要素及频率

Tab. 1 Monitoring elements and frequency of representative routes in the FerryBox project

序号	航线	平台名称	监测参数	船型	运行时段	监测频率
1	Toulon-Ajaccio	Mega Express 3	温度、盐度、pH、叶绿素 <i>a</i> 、SPMD、POCIS、硅橡胶、DGT	客船	2015 年至今	2~3 次/周 (10 月—5 月)
2	Golfo Aranci-Livorno	Mega Express 3	温度、盐度、pH、叶绿素 <i>a</i> 、SPMD、POCIS、硅橡胶、DGT	客船	2015 年至今	1 次/d (6 月—9 月)
3	Plymouth-Roscoff	MV Armorique	温度、盐度、浊度、叶绿素、溶解氧、CDOM	客船	2010 年至今	1 次/d
4	Norderney	Burchana	温度、盐度、pH、叶绿素 <i>a</i> 、浊度、营养盐、浮游植物	调查船	2016.4 至今	随机路线 监测
5	Tallinn-Mariehamn-Stockholm	Victoria I	温度、盐度、浊度、叶绿素、CDOM	客船	2006 年至今	1 次/d
6	Heraklion-Piraeus	Festos Palace	温度、盐度、叶绿素 <i>a</i> 、溶解氧、浊度	客船	2002 年至今	1 次/d
7	Moss-Halden-Zeebrugge-Immingham	LysBris	温度、盐度、pH、叶绿素 <i>a</i> 、溶解氧、浊度、营养盐、二氧化碳分压	货船	2007 年至今	14 d
8	Büsum-Helgoland	MS Funny Girl	温度、盐度、pH、叶绿素 <i>a</i> 、溶解氧、浊度	客船	2008 年至今	夏季 1 次/d
9	Cuxhaven-Immingham	Hafnia Seaways	温度、盐度、pH、叶绿素 <i>a</i> 、溶解氧、浊度、二氧化碳分压	货船	2015 年至今	3~4 次/周
10	Mediterranean Sea/Canarian Islands	Mein Schiff 3	温度、盐度、pH、叶绿素 <i>a</i> 、溶解氧	游轮	2014 年至今	随机路线监测

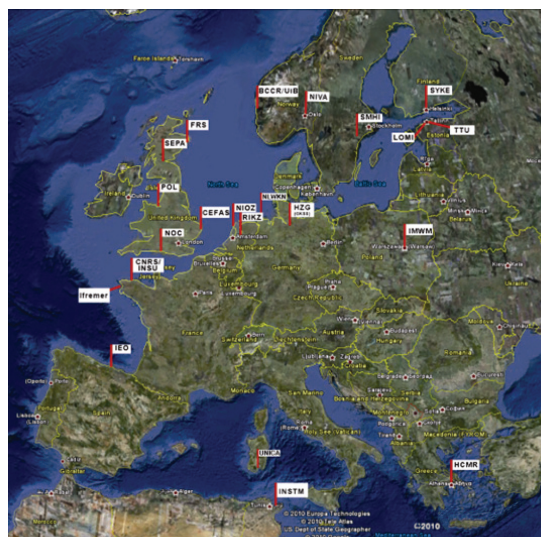


图 2 FerryBox 计划航线图

Fig. 2 Map of ferry routes used in the FerryBox project

建立了营养盐浓度与赤潮的关系，评估了波罗的海中蓝藻的发生与营养盐、盐度和温度的关系，理顺了跨国界营养化和浮游植物生产力的相互关系^[11-12]。利用 FerryBox 数据结合遥感可以估算赤潮的空间扩展，并对卫星数据进行验证等^[17]。

2.1.2 FerryBox 系统运行管理体系

FerryBox 系统的运行由 EuroGOOS 组织下成立的欧洲 FerryBox 观测任务小组统一协调组织，他们建立了观测平台门户网站促进欧洲海洋观测基础设施的科学协同和技术合作，并建立了较为完善的运行管理体系，具体包括：

(1) FerryBox 系统在系统功能设计、传感器选型、接口设计、数据格式、操作规程等方面有统一的标准和技术要求。欧洲应用的 FerryBox 系统虽然生产厂家不尽相同，但相互之间都有可比性。

(2) 系统和设备均经过测试和检验，并在航线上至少运行 1 a，才能达到应用技术要求。主要对不同 FerryBox 系统的可操作性、可靠性和长期稳定性进行比较。测试和评估不同市售标准传感器的各项性能指标，保证不同型号设备之间的数据可比性。

(3) 系统运行过程中，对设备进行定期质量控制，通过 FerryBox 水路循环系统的水路分支取样进行实验室分析，并将分析结果与 FerryBox 监测数据对比，进行数据检验。

(4) 有较为完善的运维措施，定期对设备进行维修保养、清洗、校准、备件更换等，保障系统的长

期运行。

(5) 建有稳定的技术保障团队, 在 FerryBox 项目中, 每一个系统都有大约 3~4 个人(包括科学家、技术人员和支持人员)。

(6) FerryBox 系统的所有运营商都为各自的系统应用建立个人网站、网页、数据检索和 DOR 公共信息服务。用户可以生成图形, 注册的用户也可以提取数字数据。国家海洋学中心 NNC.NOC 建立了动态的 FerryBox 网页和数据服务, 提供了由中心操作的 FerryBox 系统的信息。用户可以查看图表和动画, 生

成数据图, 也可以检索轨道信息。可以在没有访问限制的情况下从在线数据库中提取准实时和原始数字数据。

2.1.3 FerryBox 系统供应商概况

FerryBox 主要生产商有德国 4H-JENA、SubCtech 公司、英国 CTG 公司挪威 Aanderaa 公司等, 具体信息如表 2 所示。以德国 4H-JENA 产品应用最多, 从 2001 年起, 4H-JENA 工程公司研发了超过 70 套 FerryBox 及便携式 FerryBox 系统。图 3~图 4 为 4H-JENA 工程公司在德国和希腊安装的 FerryBox 系统。

表 2 FerryBox 主要生产商

Tab. 2 Major manufacturers of FerryBox

厂商	可搭载传感器	主要应用地区
德国 4H-JENA	温度、盐度、溶解氧、叶绿素 <i>a</i> 、pH、有色可溶性有机物、浊度、藻类、pCO ₂ 、水中油、营养盐、DOC 等	大西洋、北大西洋
德国 SubCtech 公司	pH、溶解氧、pCO ₂ 、温度、盐度、叶绿素 <i>a</i> 、浊度、藻类、营养盐等	大西洋、北大西洋
英国 CTG 公司	pH、溶解氧、浊度、盐度、碳氢化合物、黄色物质、藻类以及光合作用传感器	英国东岸北海、大西洋
挪威 Aanderaa 公司	温度、盐度、溶解氧、叶绿素、CDOM、fDOM、浊度、蓝绿藻、pCO ₂ 、水中油、经纬度、风速、风向、气温、气压、相对湿度、能见度、降雨量	挪威海、波罗的海



图 3 德国黑尔戈兰岛安装的 FerryBox 系统, 2003 年
Fig. 3 FerryBox system installed in Helgoland Island, Germany, 2003

虽然 FerryBox 系统的生产厂家略有不同, 但均进行了统一任务规划及数据联网, 他们采用的传感器和设备基本是一致的, 因此数据具有可比性、连续性, 应用率较高。

2.2 国外其他船载在线监测系统研究及应用现状

借鉴欧洲 FerryBox 系统的成功运行经验, 美国、加拿大、日本、澳大利亚等国家也相继开展了类似的船载在线监测项目。



图 4 希腊“Festos Palace”号安装的 FerryBox 系统, 2012 年
Fig. 4 FerryBox system installed in “Festos Palace” ship, Greece, 2012

在美国北卡罗来纳州一个大河口, 采用船载监测系统测量水质指标, 分析水质、人类活动和气候因素之间的关系, 建立水质变化模型^[18]。在加拿大乔治亚

海峡, 装有仪器的渡轮对生物要素叶绿素 *a* 开展走航监测, 用来评估弗雷泽河洋流对浮游植物生物量的影响^[19]。迈阿密大学和邮轮运营商(皇家加勒比邮轮有限公司)建立了特定的合作关系, 沿着游轮的航线开展在线测量, 获得了连续 8 a 大量大气和海洋的综合监测数据, 这些数据已被用于研究大加勒比地区的海洋酸化^[20]。在 Oleander 项目中, 连续的船载 ADCP 测量被用来研究墨西哥湾流的变化情况, 该项目是一项跨机构合作, 目的是在新泽州和百慕大之间海域高频率的收集海洋洋流、表层海水温度、表层海水盐度、表层二氧化碳等基础数据^[21]。其他类似的船载系统也在日本^[22]和澳大利亚^[23]运行了一段时间。

3 中国船载在线监测系统研究及应用现状

国内船载在线监测系统研究和应用较少, 在“十一五”863 项目的支持下, 自然资源部北海局和东海局分别在向阳红 08 号船^[24]和原海监 47 号船上建设

了船载集成监测系统, 用于渤海生态环境的预警监测和东海赤潮灾害的预警监测, 实现了对温度、盐度、溶解氧、浊度、pH、叶绿素 *a*、营养盐、化学需氧量(chemical oxygen demand, COD)、生化需氧量(biochemical oxygen demand, BOD)、总磷、总氮等参数的走航监测。国家海洋技术中心研制的船载便携式在线监测系统安装在小型商业船上对天津红线区内大神堂海域开展了多次走航式监测, 实现常态化实时的海洋大范围监测, 为红线区预警监测和监管提供了数据支撑^[25]。

中国海洋大学^[26]、清华大学^[27]等也相继开展了船载海洋生态监测系统的研究开发工作, 可集成多种水质监测设备, 实现数据的无线传输等功能, 但后续应用报道较少。

国内一些公司如杭州浅海、北京欧仕科技、上海泽铭等也在其官网登出相关船载集成监测系统信息, 可根据用户的选择定制系统功能和监测要素, 如表 3 所示, 宣传图片与外国产品类似。

表 3 国内公司船载在线监测系统监测要素

Tab. 3 Monitoring elements of on-board monitoring system of domestic companies

生产/研制厂家	可监测要素
自然资源部北海局	水温、盐度、pH、溶解氧、叶绿素、浊度、营养盐、BOD、COD、总磷总氮、挥发酚、总有机碳、重金属、有机锡
自然资源部东海局	水温、盐度、pH、溶解氧、叶绿素、浊度、营养盐、BOD、赤潮生物
国家海洋技术中心	水温、盐度、pH、溶解氧、叶绿素、浊度、营养盐
杭州浅海科技有限责任公司	温度、盐度、溶解氧、ORP、叶绿素、浊度、pH、透射率、藻类、营养盐、水中油、有色可溶性有机物、CO ₂ 、CH ₄ 、COD、TOC 等
北京欧仕科技有限公司	温度、盐度、溶解氧、ORP、叶绿素、浊度、pH、透射率、营养盐、水中油、有色可溶性有机物、CO ₂ 、CH ₄ 等
上海泽铭环境科技有限公司	温度、盐度、溶解氧、pH、营养盐、COD、石油类、气温、气压、湿度、风速、风向等

4 结语

近年来, 中国涉海相关部门积极开展了海洋生态环境在线监测系统建设和业务化运行工作^[28-33]。目前业务化运行的海洋生态在线监测系统主要采用岸基站^[34]和浮标^[35-36]两种手段, 船载在线监测系统虽然已开展了初步应用, 但尚未进入到业务化体系中。为提升中国的海洋生态监测能力, 应加强船载在线监测系统的应用, 建议开展以下几方面工作。

1) 充分参考欧洲 FerryBox 应用及管理模式, 制定统一的标准和技术要求, 明确设备功能和选型、数

据接口、数据格式、传输方式等。形成在线监测系统在硬件方面的标准化, 增加不同站点设备之间的互换性, 降低在线监测建设和运维成本。

2) 对设备和系统进行测试评估和试运行检验, 综合评估国内外产品在可靠性、准确性、适用性、维护难度、性价比等方面的优劣, 结合需求科学选型, 推进多参数、营养盐等较成熟国产设备的逐步应用。

3) 建议选择固定航线的货船或客船搭载在线监测系统, 并对航线进行仔细的评估, 以判断是否满足监测或研究任务的目标。根据船舶基础条件的不同, 设计不同的进样和安装方式, 做到“一船一方

案”，满足差异化需求。

4) 建立系统运行维护管理制度，细化船载在线监测系统管理职责分工、日常维护保养细则、质量保证与质量控制实施细则、信息上报制度、专业服务机构维护维修管理办法、经费使用与管理办法、运行考核办法等。

5) 建立专业的维护队伍和管理团队，建立与之匹配的运维保障能力，从而完成数据日常运维、质量控制、设备报错等日常任务。定期开展技术培训和交流，提高整体运维能力。建立长效财政投入机制，完善保障措施，保障在线监测工作的持续运行。

6) 加强后端数据应用软件和模型的开发，同海洋生态系统监测、海洋灾害预警、基础性监测等业务化需求紧密衔接，推进数据的有效应用。

参考文献:

[1] 李潇, 许艳, 杨璐, 等. 世界主要国家海洋环境监测情况及对我国的启示[J]. 海洋环境科学, 2017, 36(3): 474-480.
LI Xiao, XU Yan, YANG Lu, et al. Monitoring of marine environment in major countries of the world and its enlightenment to China[J]. Marine Environmental Science, 2017, 36(3): 474-480

[2] 王伟, 高艳波, 齐连明, 等. 我国业务化海洋观测发展研究——借鉴美国综合海洋观测系统[J]. 海洋技术学报, 2014, 33(6): 34-39.
WANG Yi, GAO Yanbo, QI Lianming, et al. Study on the development of operational ocean observation in China: a reference to the United States integrated ocean observation system[J]. Journal of Marine Technology, 2014, 33(6): 34-39.

[3] 同济大学海洋科技中心海底观测组. 美国的两大海洋观测系统: OOI 与 IOOS[J]. 地球科学进展, 2011, 36(6): 650-655.
Seabed Observation Group of the Marine Science and Technology Centre of Tongji University. Two major ocean observing systems in the United States: OOI and IOOS[J]. Advances in Earth Science, 2011, 36(6): 650-655.

[4] 陈建军, 张云海. 海洋监测技术发展探讨[J]. 水雷战与舰船防护, 2019, 17(2): 47-50.
CHEN Jianjun, ZHANG Yunhai. Discussion on development of marine monitoring technology[J]. Mine Warfare and Ship Protection, 2019, 17(2): 47-50.

[5] 曹焯, 刘岩, 曹璐. 海洋生态环境监测传感器的应用与发展[J]. 海洋技术学报, 2015, 34(3): 48-53.
CAO Xuan, LIU Yan, CAO Lu. Application and development of marine ecological environmental monitoring

sensor[J]. Journal of Marine Technology, 2015, 34(3): 48-53.

[6] REID P, COLEBROOK J, MATTHEWS J, et al. The continuous plankton recorder concepts and history, from Plankton indicator to undulating recorders[J]. Progress in Oceanography, 2003, 58: 117-173.

[7] RANTAJÄRVI E, OLSONEN R, HÄLLFORS S, et al. Effect of sampling frequency on detection of natural variability in phytoplankton: unattended high frequency measurements on board the ferries in the Baltic Sea[J]. Journal of Marine Science, 1998, 55: 697-704.

[8] PETERSEN W, COLIJN F. FerryBox white paper[M]. Brussels: EuroGOOS Publication, 2017.

[9] PETERSEN W, COLIJN F, HYDES D, et al. EU Project FerryBox 2002-2005[M]. Brussels: EuroGOOS Publication, 2007.

[10] WILHELM P, SUSANNE R, GISBERT B, et al. FerryBox data in the North Sea from 2002 to 2005[J]. Earth System Science Data, 2018, 10(3): 1729-1734.

[11] WILHELM P. FerryBox systems: State-of-the-art in Europe and future development[J]. Journal of Marine System, 2014, 140: 4-12.

[12] KARLSON B, ANDERSSON L S, KAITALA S, et al. A comparison of FerryBox data vs. monitoring data from research vessels for near surface waters of the Baltic Sea and the Kattegat[J]. Earth System Science Data, 2016, 162: 98-111.

[13] MARREC P, CARIOU T, LATIMIER M, et al. Spatio-temporal dynamics of biogeochemical processes and air-sea CO₂ fluxes in the western English channel based on two years of FerryBox deployment[J]. Journal of Marine System, 2014, 140: 26-38.

[14] WILHELM P, FRIEDHELM S, FRANK-DETLEF B. FerryBox-application of continuous water quality observations along transects in the North Sea[J]. Ocean Dynamics, 2011, 61(10): 1541-1554.

[15] SEBASTIAN G, JOANNA S, JOHANNES S S, et al. Use of FerryBox surface temperature and salinity measurements to improve model based state estimates for the German Bight[J]. Journal of Marine Systems, 2011, 88(1): 45-59.

[16] HALLER M, JANSSEN F, SIDDOM J, et al. Evaluation of numerical models by FerryBox and fixed platform insitu data in the southern North Sea[J]. Ocean Sci, 2015, 11: 879-896.

[17] PETERSEN W, SCHROEDER F, BOCKELMANN F D. FerryBox - application of continuous water quality observations along transects in the North Sea[J]. Ocean Dynamics, 2011, 61: 1541-1554.

[18] PAERL H W, ROSSIGNOL K L, GUAJARDO R, et al. FerryMon: Ferry-based monitoring and assessment of

- human and climatically driven environmental change in the Albemarle-pamlico sound system[J]. *Environmental Science & Technology*, 2009, 43: 7609-7613.
- [19] HALVERSON M J, PAWLOWICZ R. High-resolution observations of chlorophyll a biomass from an instrumented ferry: Influence of the Fraser River plume from 2003-2006[J]. *Continental Shelf Research*, 2013, 59: 52-64.
- [20] GLEDHILL D K R, WANNINKHOF F J, et al. Ocean acidification of the Greater Caribbean Region 1996-2006[J]. *J Geophys Res*, 2008, 113: 10031.
- [21] ROSSBY T, FLAGG C, DONOHUE K. On the variability of gulf stream transport from seasonal to decadal timescales[J]. *Journal of Marine Research*, 2010, 68: 503-522.
- [22] HARASHIMA A, KUNUGI M. Comprehensive report on marine environmental monitoring and related studies using ferry boats[R]. Japan: National Institute for Environmental Studies of Japan, 2000.
- [23] LEE R S, MANCINI S, MARTINEZ G, et al. Resolving environmental dynamics in Port Phillip Bay, using high repeat sampling off the spirit of Tasmania 1[C]// *Coasts and Ports 2011: diverse and developing: proceedings of the 20th Australasian coastal and ocean engineering conference and the 13th australasian port and harbour conference*, Perth: Engineers Australia, 2011: 404-409.
- [24] 于灏, 吕海良, 关一, 等. 船载海洋生态环境监测系统集成平台设计研究[J]. *船舶工程*, 2013, 35(3): 108-111.
YU Hao, LV Hailiang, GUAN Yi, et al. Research on the design of integrated platform of marine ecological environment monitoring system on board[J]. *Ship Engineering*, 2013, 35(3): 108-111.
- [25] 李晖, 杜军兰, 哈谦, 等. 船载海洋水质自动监测系统研制和应用[J]. *环境影响评价*, 2018, 40(6): 67-70.
LI Hui, DU Junlan, HA Qian, et al. Development and application of shipborne marine water quality automatic monitoring system[J]. *Environmental Impact Assessment*, 2018, 40(6): 67-70.
- [26] 崔洪渊, 李欣. 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(自然科学版)*, 2004, 2: 313-317.
CUI Hongyuan, LI Xin. Hardware platform design of integrated demonstration system for on-site monitoring of marine ecological environment[J]. *Journal of Ocean University of China(Natural Science Edition)*, 2004, 2: 313-317.
- [27] 李旭, 蔡中华. 基于 ARM9 的船载海水监测系统设计[J]. *现代电子技术*, 2012, 35(13): 115-118.
LI Xu, CAI Zhonghua. Design of shipborne seawater monitoring system based on ARM9[J]. *Modern Electronic Technology*, 2012, 35(13): 115-118.
- [28] 刘辉, 奉杰, 赵建民. 海洋牧场生态系统监测评估研究进展与展望[J]. *科技促进发展*, 2020, 2: 213-218.
LIU Hui, FENG Jie, ZHAO Jianmin. Research progress and prospect of monitoring and assessment of marine pasture ecosystem[J]. *Science and Technology for Development*, 2020, 2: 213-218.
- [29] 张硕, 姚子伟. 海洋突发环境事件应急响应体系: 现状及建议[J]. *环境保护*, 2019, 47(11): 19-24.
ZHANG Shuo, YAO Ziwei. Emergency response system for marine environmental emergencies: current situation and suggestions[J]. *Environmental Protection*, 2019, 47(11): 19-24.
- [30] 王悦静. 我国海洋环境监测技术及系统的研究[J]. *中国新技术新产品*, 2019, 8: 124-125.
WANG Yuejing. Research on marine environmental monitoring technology and system in China[J]. *China new technology and new products*, 2019, 8: 124-125.
- [31] 伯云台, 王岚, 姜源庆, 等. 海洋在线水质生态观测系统研究进展[J]. *环境影响评价*, 2018, 40(2): 81-85.
BO Yuntai, WANG Lan, JIANG Yuanqing, et al. Research progress of marine online water quality ecological observation system[J]. *Environmental Impact Assessment*, 2018, 40(2): 81-85.
- [32] 赵聪蛟, 赵斌, 周燕. 基于海洋生态文明及绿色发展的海洋环境实时监测[J]. *海洋开发与管理*, 2017, 5: 91-97.
ZHAO Congjiao, ZHAO Bin, ZHOU Yan. Marine environment real-time monitoring based on marine ecological civilization and green development[J]. *Ocean Development and Management*, 2017, 5: 91-97.
- [33] 王志滨, 李培良, 顾艳镇. 海洋牧场生态环境在线观测平台的研发与应用[J]. *气象水文海洋仪器*, 2017, 1: 13-17.
WANG Zhibin, LI Peiliang, GU Yanzhen. Development and application of online observation platform for marine pasture ecological environment[J]. *Meteorological, Hydrological and Oceanographic Instruments*, 2017, 1: 13-17.
- [34] 杨颖, 徐韧. 岸/岛基站海洋生态环境在线监测系统建设选址调查方案探讨[J]. *海洋技术学报*, 2018, 37(3): 25-29.
YANG Ying, XU Ren. Discussion on the site selection investigation scheme for the construction of marine ecological environment online monitoring system at shore/island base stations[J]. *Journal of Ocean Technology*, 2018, 37(3): 25-29.
- [35] 赵宾峰, 赵乾丞. 象山港生态浮标自动监测数据比对结果统计与分析[J]. *海洋技术学报*, 2017, 36(1): 74-79.
ZHAO Binfeng, ZHAO Gancheng. Statistics and analysis of automatic monitoring data of ecological buoys in Xiangshan Port[J]. *Chinese Journal of Oceanology*, 2017,

36(1): 74-79.

[36] 赵聪蛟, 孔梅, 孙笑笑, 等. 浙江省海洋水质浮标在线监测系统构建及应用[J]. 海洋环境科学, 2016, 35(2): 288-294.

ZHAO Congjiao, KONG Mei, SUN Xiaoxiao, et al. Construction and application of buoy online monitoring system for marine water quality in Zhejiang Province[J]. Marine Environmental Science, 2016, 35(2): 288-294.

Research and application progress of shipborne marine ecological online monitoring technology

WANG Ning, CHENG Chang-kuo, YANG Peng-cheng, LI Yan, SI Hui-min, REN Yong-qin

(National Ocean Technology Center, Tianjin 300112, China)

Received: Jan. 5, 2021

Key words: shipborne; marine environment; online monitoring; ecological monitoring

Abstract: The shipborne marine ecological online monitoring system is an important means of online monitoring of marine ecology. In this paper, the composition and functions of the system are introduced, and the research and application status of the system at home and abroad are discussed systematically and comprehensively. Emphasis is placed on the development history, monitoring methods, achievement applications, and operation management system of the European FerryBox system, which provides constructive suggestions for the research and application of the shipborne marine ecological online monitoring technology in China.

(本文编辑: 谭雪静)