

引文格式:

康建军, 聂郡谿, 荆珈璐, 等. 一种基于模块化设计的通用型海洋浮标数据采集系统 [J]. 集成技术, 2025, 14(3): 119-133.

KANG JJ, NIE JX, JING JL, et al. A universal ocean buoy data acquisition system based on modular design [J]. Journal of Integration Technology, 2025, 14(3): 119-133.

一种基于模块化设计的通用型海洋浮标 数据采集系统

康建军 聂郡谿* 荆珈璐 常依婷 周文清 刘超然

(国家海洋技术中心 天津 300112)

摘要 本文介绍了一种基于模块化理念设计的海洋浮标数据采集系统。该系统根据海洋浮标功能分为气象安全、水文生化 and 通信 3 个模块, 实现了浮标多设备的连续采集、处理和实时双向通信等功能。依据不同模块的特点, 系统采用多路复用器和串口扩展芯片实现接口扩展, 从硬件上提高了系统搭载能力。通信模块利用直接内存访问技术实现双路实时数据的转发、补发和远程控制等功能, 以及浮标系统在海上的可靠安全运行的人机交互功能。该系统已通过了实验室测试和海上现场实验, 验证了系统的稳定性、可靠性和测量准确性。

关键词 海洋浮标; 数据采集系统; 模块化设计; 串口扩展

中图分类号 TP368.1 文献标志码 A doi: [10.12146/j.issn.2095-3135.20240828001](https://doi.org/10.12146/j.issn.2095-3135.20240828001)

CSTR: [32239.14/j.issn.2095-3135.20240828001](https://cstr.cn/32239.14/j.issn.2095-3135.20240828001)

A Universal Ocean Buoy Data Acquisition System Based on Modular Design

KANG Jianjun NIE Junxi* JING Jialu CHANG Yiting ZHOU Wenqing LIU Chaoran

(National Ocean Technology Center, Tianjin 300112, China)

*Corresponding Author: niejunxi2024@163.com

Abstract This article introduces a ocean buoy data acquisition system based on modular design concept. The proposed system is divided into 3 modules according to the functions of ocean buoy data, i.e. the meteorological safety, hydrology biochemistry and communication. The device can realize continuous acquisition and processing of multiple devices of buoy, as well as real-time two-way communication and other functions. According to the characteristics of different modules, multiplexers and serial port expansion chips are used to realize the interface expansion of the system, which improves the carrying capacity of the system

收稿日期: 2024-08-28 修回日期: 2024-11-11

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2023YFB4204200)

作者简介: 康建军, 正高级工程师, 研究方向为海洋观测监测技术; 聂郡谿 (通讯作者), 硕士研究生, 研究方向为海洋观测集成技术, E-mail: niejunxi2024@163.com; 荆珈璐, 工程师, 研究方向为海洋观测监测技术; 常依婷, 工程师, 研究方向为海洋观测监测技术; 周文清, 工程师, 研究方向为海洋观测监测技术; 刘超然, 工程师, 研究方向为海洋观测监测技术。

from the hardware. The communication module uses direct memory access technology to realize the forwarding, retransmission and remote control of dual-channel real-time data, realizes the reliable and safe operation of the buoy system at sea, and also improves its human-computer interaction function. The system has been tested in the laboratory and on-site operation experiments at sea to verify its stability, reliability and measurement accuracy.

Keywords ocean buoy; data acquisition system; modular design; serial extension

Funding This work is supported by National Key Research and Development Program of China (2023YFB4204200)

1 引言

近年来,国家对海洋方面的研究投入加大。为连续、广泛、准确地监测和采集海洋表面的自然现象,需设计一个能在典型和极端海洋条件下运行的完全自动化的强大系统。该系统能配备自给自足的电源,足量的数据存储,并能在大多数情况下高效准确地采集相关信息,记录一定范围内发生的自然现象。通过使用装有可靠的数据采集系统 (data acquisition system, DAQ) 和各种传感器的海洋浮标,可有效监测海洋环境中的相关变量,有助于对海洋的系统性研究。

数据采集系统是一种用于测量物理现象,并将其转换为数字数据的设备和软件组合,被广泛应用于工业、科研、工程和环境监测等领域。国际上,常见的搭载在浮标上的数据采集系统有美国 CAMPBELL 公司的 CR 系列系统、美国伍兹霍尔海洋研究所 8080 系列系统、德国 ControsSystem&SolutionsGmbh 公司的 SmartDIUWLogger 系统、加拿大 Axys 公司的 Watchman500 和 Hydrolevel 系统^[1],以及相对冷门的其他国家自研 DAQ,如印度、韩国等国家的自研系统。此类采集系统虽然比较成熟,但兼容性不足,需要二次开发。

国外在 DAQ 面向海洋应用的例子很多,其中比较经典的一个是用于监测浅海环境的低成本

浮标系统^[2],实现了对温度和海洋压力、温度和大气压力的远程监测。2016 年, Martínez-Osuna 等^[3]基于 CIGoM3 (Investigación 墨西哥湾海湾联盟) 设计了一套检测海洋和气象参数的数据采集和遥测系统,完成了在墨西哥湾偏远地区的 4 个沿海海洋学浮标上的实验测试,数据成功揭示了每个站点的海洋环境。

随着中国海洋强国战略的推进和全球海洋观测系统的建立,中国海洋浮标的研发进展迅速^[4]。目前,海洋浮标按照应用形式可分为通用型和专用型^[5]。通用型浮标指传感器种类多、测量参数多、功能齐全,能对海洋水文、气象、生态等参数进行监测的综合性浮标;专用型浮标指针对某一种或某几种海洋环境参数进行观测的浮标。中国通用型浮标研制起步晚,但整体水平已接近国际领先,专用型浮标进步飞速,但离超一流水平仍有不小差距。

不同环境需要不同类型的浮标,对应的浮标流程设计和参数需求需要不断调整。浮标的传感器更新迅速和不断变化的海洋环境均对海洋浮标的监测能力提出了新需求^[6]。山东省科学院海洋仪器仪表研究所和国家海洋技术中心等研究机构奠定了中国早期的 DAQ 基础,现在的 DAQ 测量性能、扩展能力和稳定性有了更高的目标^[7]。本文介绍了一款低功耗的通用型海洋浮标数据采集系统,利用定时器和中断控制器模拟了多模块

并行采集处理电路, 并依据海洋观测设备特点, 利用多路复用器和串口扩展芯片提升全系统的搭载能力。

2 浮标数据采集功能需求

2.1 系统级功能需求

浮标数据采集系统搭载设备包括观测设备、系统监控设备和通信设备等。观测设备主要包含气象和水文生化传感器, 而传感器一般可分为独立传感器和综合传感器两大类。气象传感器的观测参数包含风速、风向、气温、相对湿度、气压、雨量、能见度、长波辐射、短波辐射和天气现象等, 应具备秒级采样和分钟级数据统计能力。水文生化传感器主要测量表层水温、表层盐度、剖面水温、剖面盐度、波高、波周期、波向、表层流速、流向、剖面流速、剖面流向、叶绿素、溶解氧、pH 值、浊度、蓝绿藻、水中油、硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、磷酸盐和化学需氧量等, 应具备十分钟级采样和数据统计能力。系统监控设备包含电源电压和电量、位置信息、姿态信息、电子舱状态等, 应具备不低于分钟级实时监控能力。常见的通信设备包括蜂窝网络、短波通信和卫星通信端, 应具备不低于分钟级实时数据通信及简单的远程监控能力。

2.2 设备级功能需求

2.2.1 气象观测设备

气象传感器分为独立传感器和综合传感器。独立气象传感器主要包含风传感器、温湿度传感器、气压传感器、雨量传感器、能见度传感器和长短波辐射传感器^[8], 型号种类繁多, 输出信号不一, 大部分兼具模拟和数字信号。例如, 风速风向传感器又分为机械和超声风传感器, 机械风传感器通过螺旋桨的转速和方向实现风的测量, 输出信号多为模拟信号; 超声风传感器通过发送的声波脉冲测量接收端的时间或频率差, 从而计

算风速和风向, 输出信号多为数字信号。另外, 风传感器既应具备备份能力, 又应具备处理带方向校正和无方向校正两大类传感器的能力。温湿度传感器采用高灵敏度探头感应环境变化^[9], 输出信号既有模拟的, 也有数字的。气象传感器还应能兼容常用的综合传感器, 如综合气象站、天气现象仪。综合气象站通常可以测量风速、风向、气温、湿度和气压等 5 种参数, 也有一些可以测量雨量和辐射, 类似上文所述的风速风向仪, 也有自带风向校正和无风向校正两类。天气现象仪在能见度传感器的基础上增加了雨量测量设备, 可以输出能见度、雨量和其他天气现象。这些传感器的多样性和高性能使其能在各种气象条件下提供准确可靠的数据, 从而为气象观测和研究提供有力支持。气象数据的采集和处理依据《GB/T 14914.3—2021 海洋观测规范 第 3 部分: 浮标潜标观测》^[10]、《HY/T 142—2011 大型海洋环境监测浮标》^[11]、《HY/T 143—2011 小型海洋环境监测浮标》^[12]等相关标准, 具体情况如表 1 所示。

2.2.2 水文生化观测设备

水文生化传感器均为智能化传感器, 即输出信号均为数字信号, 一般为 RS232 和 RS485。此类传感器的种类较简单, 主要分为温盐深仪 (conductivity-temperature-depth, CTD)、水质仪、波浪仪、海流计、剖面温盐仪、剖面海流仪和营养盐仪等^[13]。对于浮标系统的集成, 数字通信接口硬件设计相对简易, 电源电压和电流要求较苛刻, 需要具备每个传感器的独立电源控制功能; 软件设计相对复杂, 尤其是不同传感器相互组合后, 应能依据《GB/T 14914.3—2021 海洋观测规范 第 3 部分: 浮标潜标观测》《HY/T 142—2011 大型海洋环境监测浮标》《HY/T 143—2011 小型海洋环境监测浮标》等相关标准定时采集、处理观测信息, 最终实现标准化的数据存储和传输, 具体情况如表 2 所示。

表 1 浮标搭载的气象仪器参数

Table 1 Meteorological instrument parameters equipped with buoy

气象传感器种类	传感器种类	测量参数	输出信号
独立传感器	风速风向仪	风速	模拟频率 (12 V)、RS232、RS485
		风向	模拟电压 (0~2.5 V/0~5 V/0~7.2 V)、RS232、RS485
	温湿计	气温	模拟电压 (0~1 V)、RS232、RS485
		湿度	模拟电压 (0~1 V)、RS232、RS485
	气压计	大气压	模拟电压 (0~1 V)、RS232
	雨量计	降雨强度	模拟电压 (0~1 V)
	能见度	能见度	RS232、RS485
	长波辐射仪	长波辐射	弱模拟电压 (0~10 mV)、RS485
	短波辐射仪	短波辐射	弱模拟电压 (0~10 mV)、RS485
综合气象传感器	气象站	风速、风向、气温、湿度、气压	RS232、RS485
		风速、风向、气温、湿度、气压、雨量	
		风速、风向、气温、湿度、气压、雨量、辐射	
	天气现象仪	能见度、雨量、天气现象	RS232、RS485

表 2 浮标搭载的水文仪器参数

Table 2 Hydrological instrument parameters equipped with buoy

传感器种类	观测参数	信号
CTD	水温、盐度、深度	RS232
水质仪	水温、盐度、叶绿素、溶解氧、pH 值、浊度	RS232
	水温、盐度、深度、叶绿素、溶解氧、pH 值、浊度	RS232
	水温、盐度、深度、叶绿素、溶解氧、pH 值、浊度、蓝绿藻	RS232
	水温、盐度、深度、叶绿素、溶解氧、pH 值、浊度、蓝绿藻、水中油	RS232
波浪仪	波高、波周期、波向	RS232
海流计	流速、流向、垂向流速	RS232
剖面温盐仪	剖面水温、剖面盐度、深度	RS232
剖面海流仪	剖面流速、剖面流向	RS232、RS485
营养盐仪	硝酸盐	RS232
	硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、磷酸盐	RS232
	硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、磷酸盐、化学需氧量	RS232

2.2.3 安全监控与通信设备

安全监控设备主要包括定位设备、充放电控制器、航标灯和开舱进水传感器等。定位设备一般采用全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System, GNSS)，此技术已相对成熟，硬件兼容 5 V 和 12 V 两种电压，软件具备分钟级的实时监控能力。充放电控制器种类繁多，浮

标系统集成时应支持数字 RS485 信号和模拟电压信号的集成。开舱进水传感器通常输出逻辑电平信号，在集成过程中进行信号隔离，以增强系统的稳定性。

通信设备主要包括码分多址系统/通用分组无线系统、北斗二、北斗三、铱星、天通和甚高频通信系统等。浮标集成兼容 12 V 和 24 V 两种电

压, 支持从几十毫安至几安的功耗需求, 同时具备蜂窝网络和短波通信的秒级、卫星通信网络的分钟级实时通信和远程控制能力。

3 浮标数据采集系统设计

3.1 系统硬件设计

系统的主芯片选用 ST 公司 (https://www.st.com.cn/content/st_com/zh.html) 基于 Cortex M4 内核的 STM32F429VIG 芯片。该芯片支持浮点运算单元和高速数字信号处理器 (digital signal processing, DSP) 指令, 具有 2 MB 的 flash, 最高运行速度达 180 MHz, 配备 256 kB 的 RAM, 集成了 7 个可用串口, 6 个 SPI、3 个 I2C、1 个 SDI 和 17 个定时器。系统采用双时钟电路设计, 外部 8 583 个时钟既可以提供系统时钟, 又可以作外部开门狗; 内部时钟则作为系统运行主时钟。数据存储采用 SD 接口进行。模拟电路的

部分电压、频率和电流的测量均由主芯片自带电路实现。

串口扩展部分为 RS232 接口和 RS485 接口, 分别采用带缓存的 W2114 和无缓存的 CD4052 进行扩展。其中, 气象与安全电路采用带缓存的 W2114 进行扩展, 水文与生化接口采用无缓存的 CD4052 进行扩展。气象与安全预留 4 路扩展 485 接口和 4 路扩展 RS232 接口, 水文与生化部分则预留扩展 9 路 RS232 接口、2 路独立的通信接口、1 路扩展检测接口、1 路 LCD 屏接口和 1 路扩展 GNSS 接口, 具体设计思路如图 1 所示。

电源管理通过主芯片 IO 端口和光电隔离器协同工作, 控制 MOS 管为搭载设备供电。浮标搭载设备电源电压一般为 5 V、12 V 和 24 V, 系统设计了 3 路 24 V、14 路 12 V 和 2 路 5 V 电源控制电路。3 路 24 V 电源主要用于通信、剖面海流、生化传感器的供电; 14 路 12 V 电源为常用

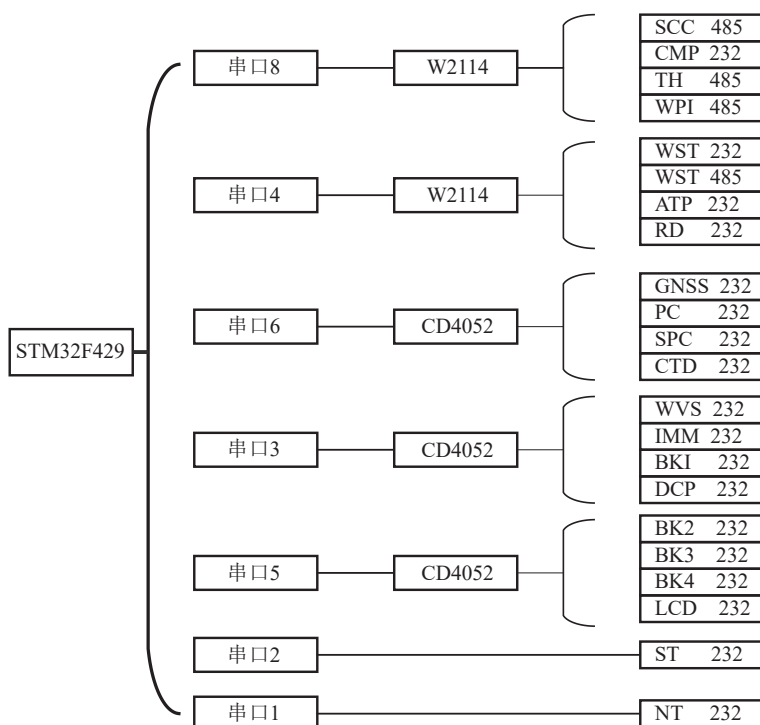


图 1 STM32F429 串口控制设计

Fig. 1 STM32F429 serial control design

搭载设备供电；2 路 5 V 电源中的一路用于 GNSS 供电，一路为备用电源。

3.2 系统软件设计

基于 ARM 主芯片 STM32F429VIG 的高运行速度和多定时器特点，该系统设计采用定时器(timer)中断机制，虚拟了 3 个独立的运行模块：气象安全模块、水文生化模块和通信模块^[4]。其中，timer3 负责气象安全模块的数据采集与处理，循环周期通常设为 1 s 和 3 s；timer5 负责水文生化模块的数据采集与处理，并对全系统的数据进行整理和存储，循环周期设为 10 min；timer4 负责通信系统采集数据的准确实时传输，同时响应岸站的远程设置和数据查询等指令，循环周期通常设为 1 s，以满足浮标的实时数据传输和远程控制需求。整体系统软件设计思路如图 2 所示。

气象安全模块主要负责气象、电源、航标灯等数据的采集与处理，涵盖参数多，组合复杂。

该模块兼容模拟信号(电压、电流和频率)和数字信号(RS232 和 RS485)的不同组合，并通过简单设置后实现不同传感器的组合运行。系统启动后首先读取系统时钟，并依据当前时刻计算剩余的采样时间。timer3 的循环周期设为 30 ms，每 3 s 可实现 100 个操作。气象数据的采集和处理又分为三级循环：3 s 循环主要负责采集风速、风向、气温、湿度和气压等信息；1 min 循环主要负责分钟级信息统计及浮标电源和电子舱状态的实时监控；10 min 循环主要负责 10 min 气象信息统计，并采集个别气象，如能见度、天气现象、辐射和雨量等信息。气象安全模块设计思路如图 3 所示。

水文生化模块不仅要承担水文与生化观测设备的数据采集与任务处理，还要负责全系统观测数据的整理和存储功能。由于浮标的最小观测与传输频率为 10 min，因此水文生化模块的循环周期也设为 10 min。在每个循环周期内，系统首先

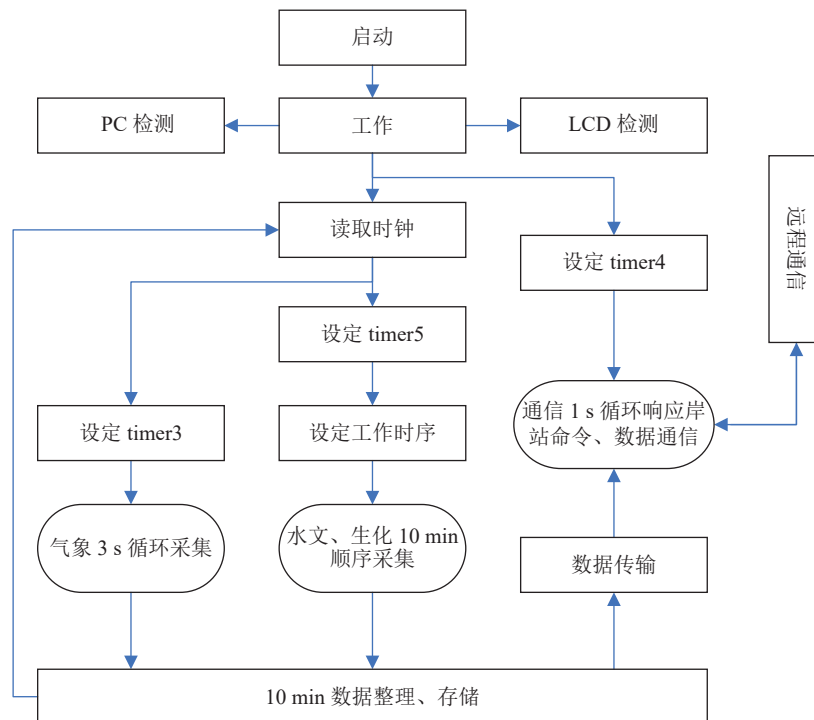


图 2 系统软件设计

Fig. 2 System software design

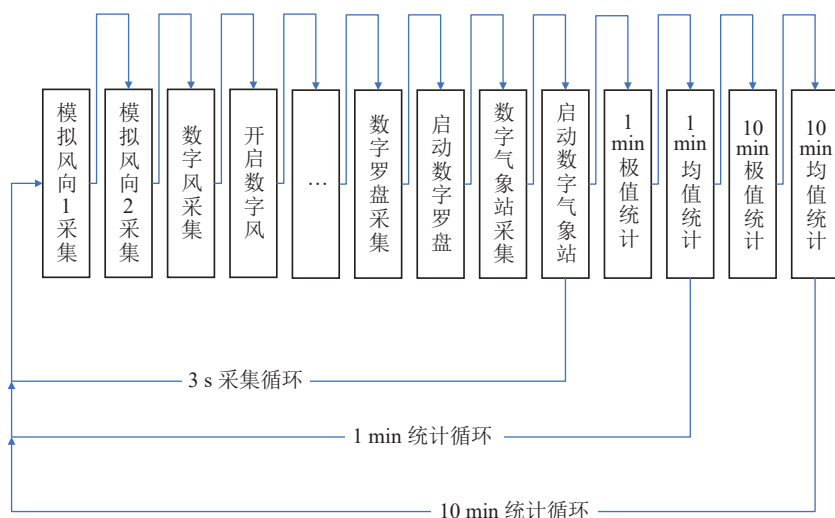


图3 气象安全模块工作原理设计图

Fig. 3 Meteorological security module working principle design drawing

读取时钟, 并设置 timer5 的定时时长, 即剩余 10 min 的采样时间, 然后读取配置参数, 并设置本循环中传感器的工作时序, 依据设定的时序依次采集传感器数据。在每个 10 min 循环结束时, 水文生化模块还需将浮标系统的所有数据整合并存储于 SD 卡中。

通信模块的功能主要包括两部分: 一部分为整理后的水文生化模块系统数据通过通信机发送至岸站数据接收系统; 另一部分为准时响应岸站接收系统发来的远程命令。数据通信通过两路独立的串口进行, 系统搭载两路通信设备, 并根据通信设备的通信协议将数据发送至岸站数据接收系统。响应岸站命令分为数据查询命令和远程控制命令两类。由于海上通信网络环境有限和浮标不稳定的运动姿态, 通信不一定能一次成功, 因此远程数据查询或补发成为保证浮标数据有效接收率的必要手段。浮标作为一个无人值守的自动观测平台, 现场维护周期通常为一年。远程控制、监测、设置不仅能提高系统的智能化水平, 还是维持系统稳定运行的重要保障。为实现这一功能, timer4 的循环周期通常设为 1 s, 实时监测并响应岸站远程控制命令。

4 实验室环境测试

由于浮标数据采集系统一般安装在封闭的电器舱内, 因此影响系统稳定性的主要因素是环境温度和电磁干扰。

浮标数据采集系统一般安装在位于水气界面的主密封舱内, 与变化较大的气温相比, 水温对舱内温度具有调控作用, 使舱内温度不会出现较大的起伏变化。中国沿海气温一般为 $-10 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 。为模拟环境温度的影响, 依据国家标准海洋仪器环境试验方法的 GB/T 32065.3—2015^[14]、GB/T 32065.5—2015^[15]、GB/T 32065.2—2015^[16]和 GB/T 32065.4—2015^[17] 进行环境试验, 即分别选择低温 -40°C ^[14]、高温 85°C ^[15] 进行贮存试验, 低温 -20°C ^[16]、高温 75°C ^[17] 进行运行试验。

为模拟雷电感应电势串扰、操作过程中人体静电干扰和运行环境中其他辐射干扰或搭载设备辐射干扰对本文设计的浮标数据采集系统的影响, 依据 GB/T 17626.4—2018^[18]、GB/T 17626.2—2018^[19]和 GB/T 17626.3—2023^[20], 选择 $\pm 2\text{ kV}$ 、重复频率为 5 kHz 和 100 kHz 的电快速瞬变脉冲抗扰度, $\pm 6\text{ kV}$ 的静电放电抗扰度, 30 V/m、80~

6 000 MHz 的射频电磁场辐射抗扰度进行试验。

试验结果显示, 首批 10 台浮标数据采集系统均可通过上述环境试验, 表明系统的稳定性和可靠性不受环境影响或影响较小。

5 海上现场试验

经过实验室测试后, 为进一步验证浮标数据采集系统的可靠性、稳定性和测量准确性, 2023 年 9 月 15 日 0 时至 10 月 15 日 23 时在中国某海域进行了现场试验, 所测数据如下: 风场、温度和气压等气象数据, 海表水温、波浪和海流等水文数据, 传感器输出信号覆盖模拟频率、电压和数字信号, 并采用一套浮标两套独立数据采集系统做对比试验。由于仅安装了一个水温传感器, 因此本文不探讨水温数据, 重点分析几组能实现主副采比较的典型数据。

5.1 数据分析

5.1.1 风测量数据

风速风向传感器输出为模拟信号, 风速为 0~1 000 Hz 的频率信号, 风向为 0~5 V 的电压

信号。另外, 传感器输出为载体坐标系下的相对值, 系统装有一个电子罗盘, 用以将传感器采集的数据转换为标准的地球坐标系中的绝对风速风向。

风场变化如图 4~图 6 所示, 极大风速、最大风速、平均风速的变化趋势相似, 以最大风速(主数采)为例, 9 月中旬, 当地风速较平稳, 下旬开始, 风速有一次显著的变化过程, 持续至 9 月末, 期间风速最大值为 16.3 m/s, 风向由北转西。10 月初, 风速略增加, 10 月 5 日后风速较小, 持续 3 d 后风速、风向呈现日周期的显著变化, 到 10 月中旬后, 风速又经历了一次显著的变化过程, 期间风向为西南。整个分析时段中, 最大风速为 16.6 m/s, 最小风速为 0.5 m/s, 平均风速为 5.4 m/s。

两个数据采集器测量的极大风速、极大风速对应风向、最大风速、最大风速对应风向、平均风速、平均风速对应风向的一致性较高, 相关系数大于 0.99, 可以互相验证, 测量结果真实有效。

5.1.2 气压分析

气压分析的是数字信号, 有显著的半日周期

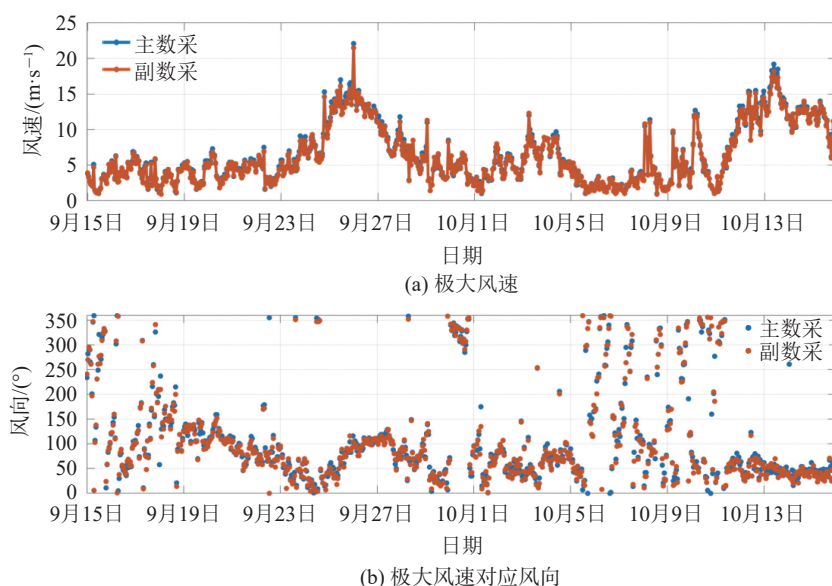


图 4 主副数据采集极大风速和对应风向时间序列

Fig. 4 Main and auxiliary DAQs collect time series of extreme wind speed and direction

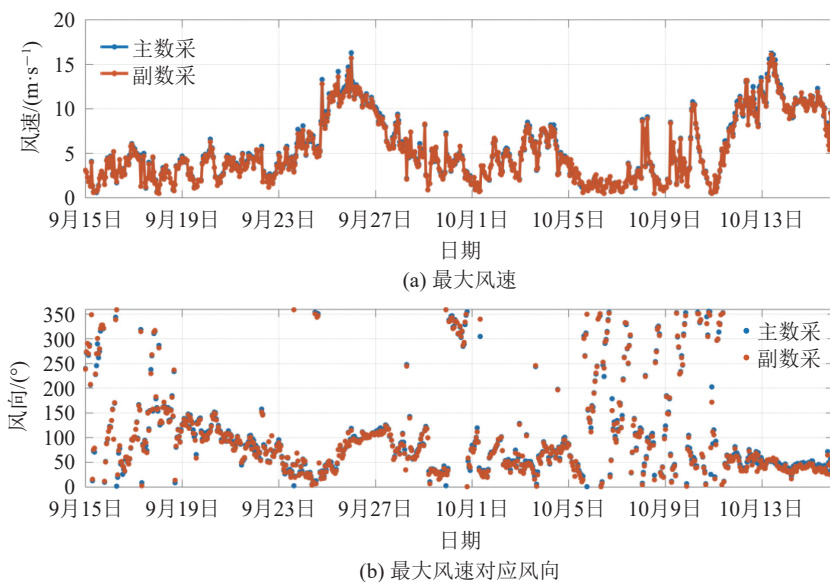


图 5 主副数据采集最大风速和对应风向时间序列

Fig. 5 Main and auxiliary DAQs collect time series of maximum wind speed and direction

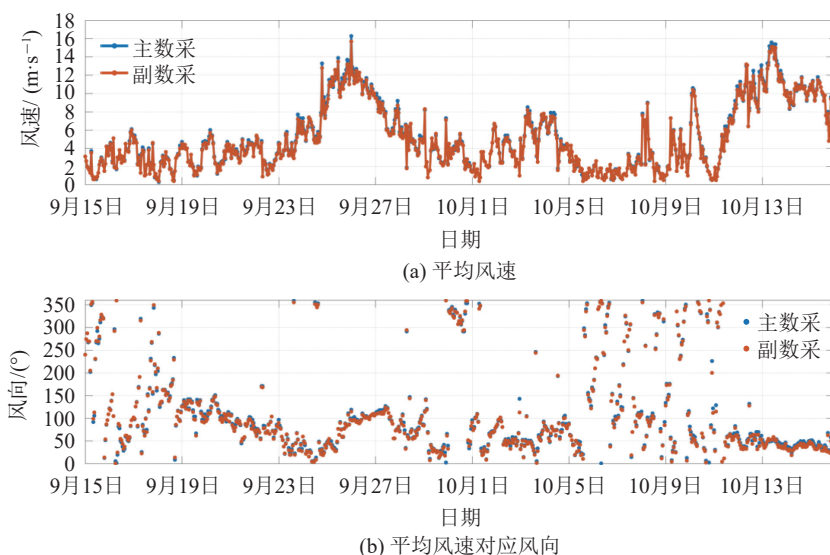


图 6 主副数据采集平均风速和对应风向时间序列

Fig. 6 Main and auxiliary DAQs collect time series of average wind speed and direction

变化, 一天中有两个峰值和谷值, 如图 7 所示。最大值出现在上午 9—10 时, 午后气压最低。9 月下旬出现一次低压天气过程, 当地气压逐渐减弱, 于 25 日降至最低值 999.6 hPa, 后逐渐增强, 其后平稳变化, 到 10 月中旬又经历一次高压过程。整个分析时段中, 气压最大值为 1 014.3 hPa, 最小值为 999.6 hPa, 平均值为

1 007.6 hPa。两个数据采集器测量的气压高度一致, 相关系数达 0.99, 可以互相验证, 测量结果真实有效。

5.1.3 气温分析

气温分析的是数字信号, 可检测的温度范围为 $-50\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, 电压范围为 $0\sim 1\text{ V}$, 气温精度为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 电压采集精度为 1 mV 。

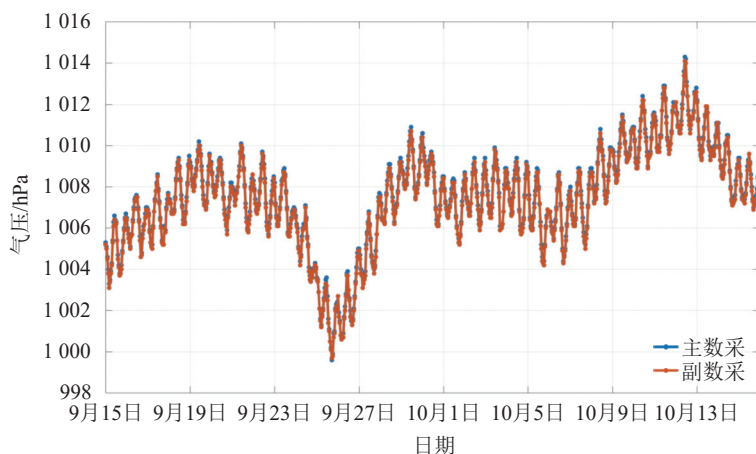


图 7 主副数据采集气压变化时间序列

Fig. 7 Main and auxiliary DAQs collect time series of pressure changes

气温变化如图 8 所示, 9 月 16 日、25 日, 10 月 8 日以及 12 日前后, 当地出现了几次降温过程, 9 月 18 日和 10 月 6 日前后经历了两次小幅升温过程。整个分析时段中 (主数采), 最高温度为 32.2 °C, 最低温度为 24.7 °C, 平均温度为 28.9 °C。两个数据采集器测量的气温高度一致, 相关系数达 0.98, 可以互相验证, 测量结果真实有效。

5.1.4 剖面流分析

剖面流数据是数字信号, 浮标系统只安装一套海流计, 其数据采集具有设置参数复杂、数据

量大的特点, 剖面流速流向参见图 9。剖面海流计位于水下约 1.5 m 处, 设置层数为 20, 层厚为 5 m。当地水深为 90 m, 因此选择上 18 层进行分析。

整个观测时段内, 当地海域中层水体海流较大, 平均深度在 50 m 左右流速达最大。由剖面海流时间序列可知, 当地海流存在明显的半日潮特征, 整个流速剖面体现出半日周期的往复运动。此观测结论与当地的潮汐、潮流特征一致。

5.1.5 波浪分析

波浪变化如图 10 所示, 最大波高、有效波

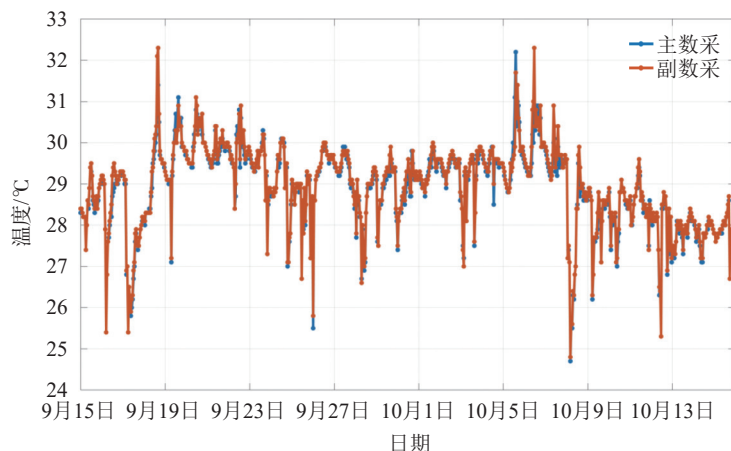


图 8 主副数据采集温度变化时间序列

Fig. 8 Main and auxiliary DAQs collect time series of temperature changes

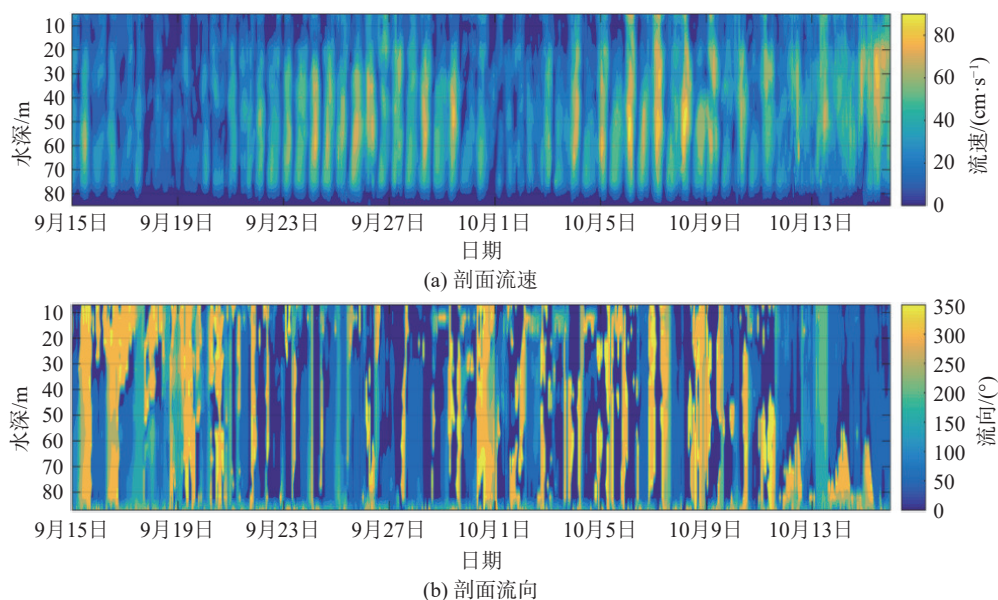


图9 剖面流速流向分布图

Fig. 9 Profile flow velocity and direction distribution diagram

高、平均波高的变化趋势相似。以最大波高(主数采)为例,9月中旬,当地波浪较小,波高约为0.50 m,9月24日开始,波浪显著增大,海况变差,这一过程持续一周,到9月末结束,期间,波高的最大值为3.23 m。10月初,波浪平稳两天后,波高略有增大,10月5日前后有一次小的波浪变化过程。随后,波高呈波动上升趋势,于10月中旬,又经历了一次显著的变化过程。整个分析时段中,波高的最大值为3.93 m,最小值为0.22 m,平均值为1.15 m。两个数据采集器测量的最大波高、有效波高和平均波高高度一致,各波高的相关系数大于0.99,可以互相验证,测量结果真实有效。

5.2 讨论

数据采集器在浮标中的作用至关重要,负责收集、处理、存储和传输监测环境参数和浮标自身安全监控数据,对整体系统的扩展性和稳定性起决定作用。加拿大Axys公司先后开发了WM500和Hydrolevel两款专业微处理器(micro control unit, MCU),并基于开发的MCU研制了浮标数据采集器。美国CAMPBELL公司的CR

系列是应用最广泛的浮标数据采集器,具有一定数量的模拟和数字接口,但缺乏电源管理模块,需要用户加装,且数字接口有限,复杂浮标系统需要多台串联使用^[21]。在美国墨西哥计划中,浮标数据采集器将单MCU作为核心模块控制传感器采集信号,串口扩展采用USB Hub^[22]。在印度洋观测浮标中,印度采用基于单MCU设计的3层直连式存储(direct attached storage, DAS)框架,通过分布式电池结构和减少电路板元件延长DAQ工作时间,但串口扩展严重不足^[23]。韩国一种小型浮标数据采集器采用多数据链路系统,通信模块依据不同卫星定制^[24]。中国成熟的浮标采集系统大多为多电路板块多模块化设计,将不同任务板块分离,多电路板集成的DAQ分别进行信号收集。例如:山东省科学院海洋仪器仪表研究所早期的数据采集器将采集和通信分离;国家海洋技术中心早期的浮标数据采集器采用气象、通信和主控制3个模块;青岛卓建海洋装备科技有限公司采用气象和主控制两个模块。除此之外,公开资料显示,近年来,中国新研发的数据采集器多采用总线加自采集模块^[6-7],可实现多

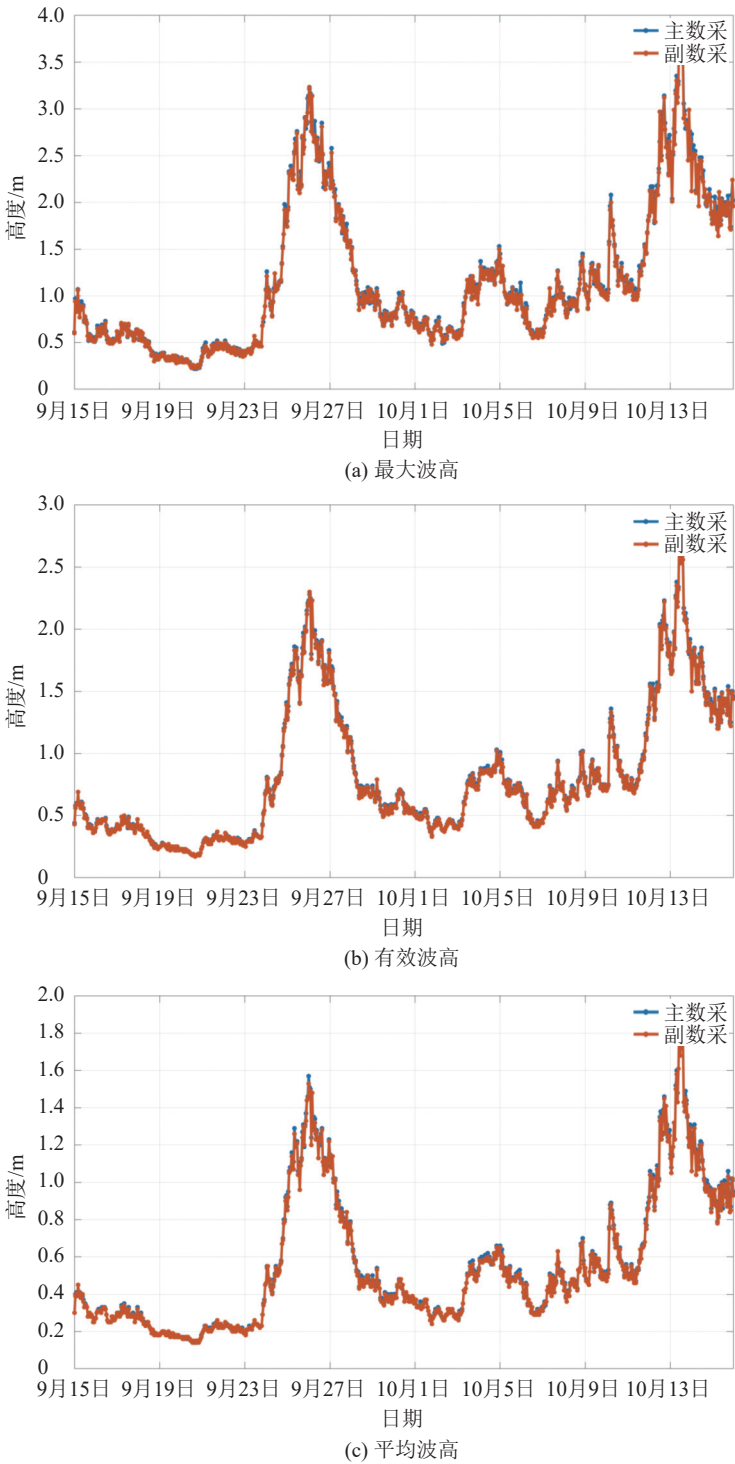


图 10 主副数据采集最大、有效和平均波高时间序列

Fig. 10 Main and auxiliary DAQs collect time series of maximum, effective, and average wave height

设备集成的扩展功能。
综上所述，常见的海洋浮标数据采集系统主 要有 3 种设计：单 MCU 直接采集信号设计、分任务多电路板模块化设计、总线设计。单 MCU

直接采集信号设计的功耗虽然较低, 但单 MCU 的接口扩展性较弱; 多电路板设计存在功耗高、扩展性不足等问题; 总线设计的扩展性虽然被增强, 但随着子采集模块的增加, 功耗也明显增加。本文设计的采集系统利用 ARM 芯片定时器和中断控制器虚拟多线程并行采集系统, 并通过分析常见通用传感器的接口模拟选择开关和串口扩展芯片, 既提高了系统的扩展性, 又降低了系统的功耗。

为保证数据准确性, 本文实验利用两套数据采集器采集数据, 试验结果表明: 风场、气温和气压变化高度一致, 数字信号和模拟信号的准确性和真实性均得到证明, 即采集的数据真实有效。此外, 风传感器采集的风场相对值经过了罗盘校正, 得到的地球坐标系下的真值一致性较高, 表明了数据采集系统的采集和处理准确性较高。由采集并处理过的水文数据图充分体现了当地海流具有半日潮特征, 即一天内, 潮汐有两次高潮, 两次低潮。

为进一步验证浮标采集数据的有效性, 可结合当地天气记录进行分析。9 月下旬经历了一次显著的天气过程, 该现象与浮标观测数据吻合。通过分析可知, 该天气变化表现为风速显著增强、气压下降和温度降低, 显示为一次显著的大风降温过程。特别是 9 月 25 日, 随着风速的显著增加, 海水温度明显下降, 日变化幅度略小, 整体呈下降趋势, 降幅大于 1°C 。海上试验结果表明: 浮标采集的数据能准确反映海洋环境的实际状况。

6 结 论

本文针对海洋环境实时监测的需求和市场上常见的浮标采集系统, 设计了一款低功耗的海洋浮标数据采集系统, 本系统具有兼容性、扩展性、数据准确性和运行稳定性等优点。系统利用

定时器和中断控制器虚拟多模块并行采集电路, 并依据海洋环境监测设备的特点尽可能扩展其设备接口, 既降低了功耗, 又提升了对海洋环境的监测效率。该系统进行了实验室环境试验和海上试验, 验证了其稳定性和测量数据的准确性。

参 考 文 献

- [1] 周浩, 段发阶, 邵毅, 等. 基于串行通信的传感器自动识别与通用型浮标数据采集系统设计 [J]. *海洋科学*, 2019, 43(11): 68-75.
Zhou H, Duan FJ, Shao Y, et al. Design of automatic sensor identification and universal buoy data acquisition system based on serial communication [J]. *Marine Sciences*, 2019, 43(11): 68-75.
- [2] Albaladejo C, Soto F, Torres R, et al. A low-cost sensor buoy system for monitoring shallow marine environments [J]. *Sensors*, 2012, 12(7): 9613-9634.
- [3] Martínez-Osuna JF, Ocampo-Torres FJ, Gutiérrez-Loza L, et al. Coastal buoy data acquisition and telemetry system for monitoring oceanographic and meteorological variables in the Gulf of Mexico [J]. *Measurement*, 2021, 183: 109841.
- [4] 戴洪磊, 牟乃夏, 王春玉, 等. 我国海洋浮标发展现状及趋势 [J]. *气象水文海洋仪器*, 2014, 31(2): 118-121.
Dai HL, Mou NX, Wang CY, et al. Development status and trend of ocean buoy in China [J]. *Meteorological, Hydrological and Marine Instruments*, 2014, 31(2): 118-121.
- [5] 王波, 李民, 刘世萱, 等. 海洋资料浮标观测技术应用现状及发展趋势 [J]. *仪器仪表学报*, 2014(11): 2401-2414.
Wang B, Li M, Liu SX, et al. Current status and trend of ocean data buoy observation technology applications [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2014(11): 2401-2414.
- [6] 王晓燕, 裴亮, 付晓. 基于 CAN 总线的浮标数据采集系统设计 [J]. *微计算机信息*, 2008, 24(14): 20-21.
Wang XY, Pei L, Fu X. Design of data acquisition system of ocean buoy based on CAN bus [J].

- Microcomputer Information, 2008, 24(14): 20-21.
- [7] 孟德国. 基于 uC/OS-II 的大型海洋资料浮标监控软件设计与实现 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- Meng DG. The design and development of monitoring software based on uC/OS-II for ocean data buoys [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011.
- [8] 王柏林, 王皖东, 刘云平. 基于 STM32 的海洋气象浮标采集系统设计与实现 [J]. [气象水文海洋仪器](#), 2019, 36(2): 85-89.
- Wang BL, Wang WD, Liu YP. Design and implementation of marine weather buoy acquisition system based on STM32 [J]. [Meteorological, Hydrological and Marine Instruments](#), 2019, 36(2): 85-89.
- [9] 殷燕南. 基于云平台的北斗气象数据采集系统 [J]. [中国科技信息](#), 2022, (19): 107-109.
- Yin YN. Beidou meteorological data collection system based on the cloud platform [J]. [China Science and Technology Information](#), 2022, (19): 107-109.
- [10] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 海洋观测规范 第 3 部分: 浮标潜标观测: GB/T 14914.3—2021 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- State Administration of Market Supervision and Management, Standardization Administration of the People's Republic of China. The specification for marine observation—Part 3: Surface and subsurface buoy-based observation: GB/T 14914.3—2021 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.
- [11] 国家海洋局. 大型海洋环境监测浮标: HY/T 142—2011 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- State Oceanic Administration. Large mooring buoy system for ocean observing: HY/T 142—2011 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2011.
- [12] 国家海洋局. 小型海洋环境监测浮标: HY/T 143—2011 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- State Oceanic Administration. Small mooring buoy system for ocean observing: HY/T 143—2011 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2011.
- [13] 刘星, 周树道, 龙运华. 陆地水文传感器的现状与发展趋势 [J]. [气象水文海洋仪器](#), 2013, 30(1): 124-128.
- Liu X, Zhou SD, Long YH. Current situation and development trend of hydrological sensor [J]. [Meteorological, Hydrological and Marine Instruments](#), 2013, 30(1): 124-128.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 海洋仪器环境试验方法 第 3 部分: 低温贮存试验: GB/T 32065.3—2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Environmental test methods for oceanographic instruments—Part 3: Cold storage: GB/T 32065.3—2015 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2015.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 海洋仪器环境试验方法 第 5 部分: 高温贮存试验: GB/T 32065.5—2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Environmental test methods for oceanographic instruments—Part 5: Dry heat storage: GB/T 32065.5—2015 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2015.
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 海洋仪器环境试验方法 第 2 部分: 低温试验: GB/T 32065.2—2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Environmental test methods for oceanographic instruments—Part 2: Cold: GB/T 32065.2—2015 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2015.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 海洋仪器环境试验方

- 法 第 4 部分: 高温试验: GB/T 32065.4—2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Environmental test methods for oceanographic instruments—Part 4: Dry heat: GB/T 32065.4—2015 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2015.
- [18] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验: GB/T 17626.4—2018 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- State Administration of Market Supervision and Management, Standardization Administration of the People's Republic of China. Electromagnetic compatibility—Testing and measurement techniques—Electrical fast transient/burst immunity test: GB/T 17626.4—2018 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.
- [19] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验: GB/T 17626.2—2018 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- State Administration of Market Supervision and Administration, Standardization Administration of the People's Republic of China. Electromagnetic compatibility—Testing and measurement techniques—Electrostatic discharge immunity test: GB/T 17626.2—2018 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.
- [20] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 电磁兼容 试验和测量技术 第 3 部分: 射频电磁场辐射抗扰度试验: GB/T 17626.3—2023 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- State Administration of Market Supervision and Administration, Standardization Administration of the People's Republic of China. Electromagnetic compatibility—Testing and measurement techniques—Part 3: Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test: GB/T 17626.3—2023 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.
- [21] Ethier A, Bedard J. Development of a real-time water quality buoy for the Fraser River Estuary [C] // Proceedings of the OCEANS 2007, 2007: 1-6.
- [22] Pérez Chavarría M, Estudillo Zamora E. Development of a data acquisition system for an oceanographic buoy [J]. Journal of Applied Research and Technology, 2009, 7(2): 193-201.
- [23] Muthiah MA, Vengatesan G, Ramesh K, et al. Design and development of energy-efficient data acquisition system for Indian tsunami surface buoy system [C] // Proceedings of the Global Oceans 2020: Singapore-US Gulf Coast, 2020: 1-6.
- [24] Lee WB, Park SH. A study on the automatic ocean wave observation buoy system [J]. The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, 2011, 6(2): 268-273.