

基于大浮标的海洋放射性原位监测系统研究

吴丙伟, 张颖颖, 刘 岩, 刘东彦, 袁 达, 张云燕, 冯现东

(齐鲁工业大学(山东省科学院), 山东省科学院海洋仪器仪表研究所, 山东省海洋环境监测技术重点实验室,
国家海洋监测设备工程技术研究中心, 山东 青岛 266100)

摘 要:海洋放射性原位监测相比于传统采样回实验室分析可以实现连续、实时、自动化监测。文中研究了基于大浮标的海洋放射性原位监测系统,使用放射性测量传感器测量周围环境的放射性数据,使用 GPS 确定所测环境坐标,通过北斗通讯的方式将所测得放射性数据、位置信息等发送给岸站,岸站收到数据后计算并显示放射性测量传感器所测周围环境放射性数据能谱;研究设计了一种分包发送数据,数据丢包补发机制,解决海洋放射性数据量大、传输时间长、数据不全会造成解谱不准确的问题。最后通过实验室长期实验验证,长期数据平均接收率达到 98%以上,能够利用海洋放射性原位监测系统实现准确可靠的监测。

关键词:海洋放射性原位监测;放射性测量传感器;大浮标;北斗通信

中图分类号:TP23 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-2029(2019)03-0051-08

日本福岛核电站爆炸曾经引发了严重的海洋核污染事故,对海洋生态系统、渔业养殖等造成了严重影响。随着我国沿海核电能源战略的实施,目前我国已建、在建和筹建的核电项目全部分布在东部沿海地区,核安全监测和预警、应急已经纳入了国家安全战略的范畴^[1]。

传统的海洋放射性监测方式是现场大面积水体采样,然后带回实验室处理分析。这种方法程序繁琐、耗时费力,不能对海洋放射性情况进行及时有效的监测,更不可能做到污染的及时预警。因此,研究设计海洋放射性原位监测系统^[2-3],建设海洋放射性环境的自动化、连续监测,对海洋核安全预警和事故应急意义重大。

本文介绍了一套基于大浮标^[4-6]的海洋放射性原位监测系统,能够现场快速地监测海水的放射性,通过北斗通讯的方式将所测得放射性数据发送给岸站,岸站收到数据后不仅可以计算出放射性总量,还可以进行核素甄别并提供核素的定量分析。本系统可以抵抗恶劣天气的影响,满足海洋放射性环境的连续监测、海洋核污染预警、事故应急和海

洋科学研究调查等多种用途。

1 系统总体研究设计

海洋放射性原位监测系统框图如图 1 所示。

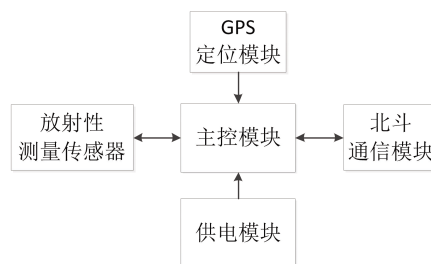


图 1 海洋放射性原位监测系统框图

Fig.1 The block diagram of in-situ marine radioactivity monitoring system

海洋放射性原位监测系统由放射性测量传感器、主控模块、北斗通信模块和 GPS 定位模块组成。

系统上电、各模块初始化完成后,主控模块判断是否到达预设的数据采集时间,如果到达则控制 GPS 定位模块、放射性测量传感器和北斗通信模块

收稿日期:2019-04-07

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFC1402500);国家自然科学基金资助项目(41606111)

作者简介:吴丙伟(1987-)男,硕士,工程师,主要研究方向为海洋环境监测技术。E-mail: wubingweide@163.com

上电。首先 GPS 获取定位信息,放射性测量传感器采集一定时长的放射性数据,将位置信息、时间信息和放射性数据存入 SD 卡,通过北斗将以上信息发送给岸站,完成后主控模块控制各系统断电,进入休眠模式。等到预设数据补发阶段,主控模块进入数据补发模式,控制北斗通信模块上电,接收岸站发送的数据补发命令后从 SD 卡获取数据补发给岸站,完成后主控模块控制北斗通信模块断电,进入休眠模式,等待进入下一个工作周期。

2 系统硬件研究设计

2.1 放射性测量传感器研究设计

放射性测量传感器采用 3"×3" NaI(Tl)晶体配合光电倍增管组合成的测量探头作为探测器,后端连接前置放大电路将光电倍增管输出信号进行预放大,然后接入到多道脉冲幅度分析器。传感器多道脉冲幅度分析器采用 FPGA 设计,道址 1024 道,经过多道脉冲幅度分析器采集完成的数据发送给协处理器,然后经过 RS232 串口发送给主控模块。放射性测量传感器如图 2 所示。



图 2 放射性测量传感器

Fig.2 The radioactive measuring sensor

放射性测量传感器能量监测范围: 30 keV~3 MeV,探测下限: ~0.04 Bq/L (^{137}Cs , 24 h),能量分辨率: <7% (^{137}Cs)。

2.2 主控模块研究设计

主控模块是海洋放射性原位监测系统的核心,主要负责放射性测量传感器的控制、数据采集、处理、存储,GPS 定位模块位置信息的采集,供电模块电池电压的监控,通过北斗模块发送放射性数据等,响应岸站指令。

主控模块采用基于 Cortex-M3 的 ARM 处理器为核心的主板,由 CPU 电路、时钟值守电路、控制电路、SD 卡存储电路、通信接口电路、电源电路以及电源电压监测电路等组成。

CPU 选用 ST 公司的 STM32F103ZET6,内部闪存 512 K,RAM 64 K,适合用于 1 024 道放射性测量传感器数据的采集、处理和存储。包含 3 个 USART 和 2 个 UART,适合通过 RS232 串口连接放射性测量传感器、GPS 定位模块和北斗通信模块。CPU 电路为 STM32F103 组成的最小系统电路,主要是提供 STM32F103 正常工作所需要的必需电路,主要由系统时钟电路、RTC 时钟电路、后备电池供电电路、复位电路和程序下载电路组成。

控制电路主要是控制放射性测量传感器、GPS 模块和北斗通信模块供电的通断电,在系统工作间歇各设备断电,降低系统功耗。通过三极管和 MOS 管组成电子开关电路,控制各系统通断电。放射性测量传感器电源控制电路设计如图 3 所示。

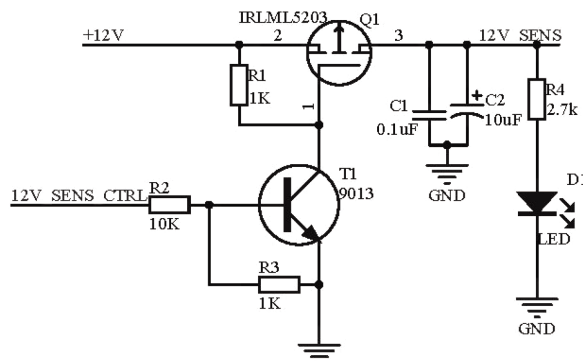


图 3 放射性测量传感器电源控制电路

Fig.3 The power supply control circuit for radioactive measurement sensors

通过控制三极管 T1 的通断,从而控制 MOS 管 Q1,若 Q1 MOS 管处于导通状态,则整个电路导通。即当系统工作时,单片机给 T1 管基极高电平,T1 管导通,T1 管集电极也就是 Q1 管栅极为低电平,Q1 管导通,最后整个电路导通;当系统处于工作间歇时,只需通过单片机给 T1 管基极低电平关闭各模块电源即可。GPS 模块和北斗通信模块电源控制电路使用相同的方法。

三极管选用 NPN 型三极管 9013 作为开关管使用。MOS 管选用 P 沟道 MOS 管 IRLML5203, V_{GS} 为 -10 V 时导通电阻为 98 m Ω ,漏极电流可达 -3 A,大浮标电池电压正常值为 12 V,故本设计 V_{GS} 为 -12 V,可以达到 3 A 电流供电能力。

SD 卡存储电路主要是将放射性测量传感器数据、GPS 定位数据、时间信息、电源电压和岸站指令等信息存储在 SD 卡上。SD 卡存储电路设计如图 4 所示。

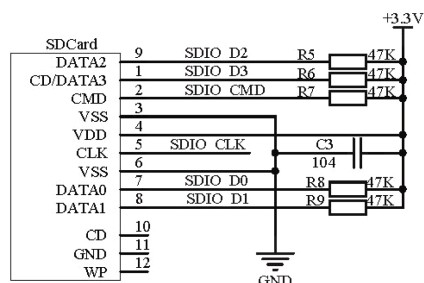


图4 SD卡存储电路

Fig.4 The SD card circuit

数据采集阶段,SD卡需要存储采集到的大量的放射性测量传感器数据;数据补发阶段,主控模块需要快速从SD卡读取放射性测量数据,发送给北斗模块。综合考虑到读写速度本设计采用SDIO模式连接SD卡存储电路与单片机。

通信接口电路主要是单片机与放射性测量传感器、GPS模块和北斗通信模块进行通信的电路。单片机与GPS模块直接使用单片机USART接口TTL电平通信,无需其他接口电路。单片机与放射性测量传感器、北斗通信模块使用RS232方式通信,电路设计图如图5所示。

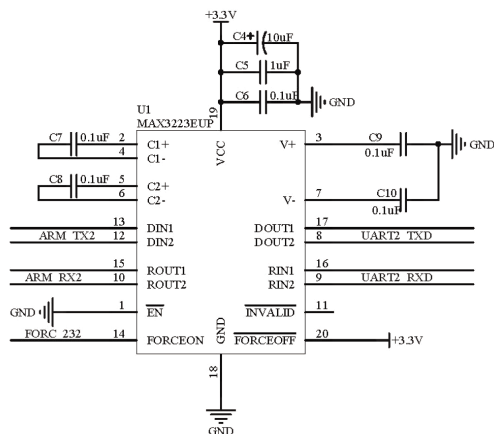


图5 RS232通信接口电路

Fig.5 The RS232 communication circuit

电源电路主要是将大浮标供电模块提供的9~18V直流电压转化到适合放射性原位监测系统适合使用的电压。首先使用TPS5431将9~18V电压转换成5V直流电压,然后使用LT3971-3.3将5V电压转化成3.3V电压,电源电路如图6所示。TPS5431电压输入范围5.5~23V,输出连续电流可达3A,通过外围电路将输出电压设置为5V,满足设计要求。LT3971-3.3电压输入范围4.3~38V,最大输出电流可达1.2A,芯片固定输出3.3V直流电压,满足设计要求。

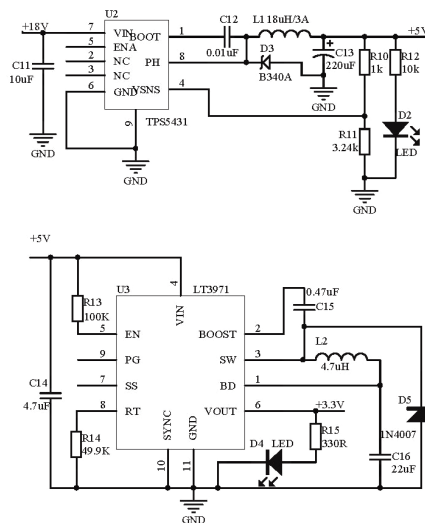


图6 电源电路

Fig.6 The power circuit

2.3 GPS定位模块研究选型

GPS模块采用U-BLOX NEO-6M模组^[7],此模组体积小方便集成,可以通过串口配置相关参数并可保存在EEPROM里,模组兼容3.3V电平,可以与主控模块单片机直接连接。由于大浮标工作在海上,高湿高盐,环境恶劣,模组与主控模块需安装在浮标舱内,所以需要配置外置有源天线,本模组带有接外置天线的IPEX接口,适合在浮标上使用。

外置天线选择船用GPS商用天线,频率范围1575.42±3MHz,接头为SMA,需要通过转接线连接NEO-6M模组,另外外置天线有雷电保护功能。

2.4 北斗通信模块研究选型

北斗通信^[8-11]模块采用北斗普通型用户机BDSC-01,可以实现全天候的双向短报文通信,采用防水设计IP67,可在室外可靠工作,方便集成安装在大浮标天线安装支架上。

BDSC-01接收信号灵敏度为-127.6dBm,发射功率≥39dBm,通信成功率≥95%,满足海上放射性数据传输要求。使用RS232串口通信,方便与主控模块通讯连接。工作电压直流9~36V,与大浮标电池供电电压范围9~18V相匹配。

3 系统软件研究设计

传统海洋监测数据也就是1个或者几个数据,每个数据最多占用4Byte,与其他传统海洋监测数据相比海洋放射性原位测量传感器测量数据为1024道,每道数据占用至少4Byte。那么相应的数

据量为 4 096 Byte, 而北斗短报文通讯每包数据最多为 78 Byte, 那么放射性测量数据必须分包发送。北斗短报文通讯每分钟只能发送 1 包数据, 那么相应的仅仅放射性测量数据发送时间就需 53 min。海洋放射性数据分析需要得到每道确切的数据才能准确进行分析是否产生放射性泄漏以及泄漏量是多少, 而北斗进行长时间大数据量发送难免会造成数据丢包, 因而研究设计安全可靠的海洋放射性数据采集控制发送软件非常必要。

3.1 主控模块软件研究设计

主控模块负责整个系统的调度, 控制每个模块工作和休眠, 降低系统功耗。系统平时处于休眠模式, 当到达工作时间时主控模块被唤醒, 初始化各个模块, 北斗校准时间, 从 SD 卡读取系统配置, 系统默认设置每天工作 2 次。根据北斗校准时间和配置信息内设置工作时间判断是否到达第一次工作时间, 如果没有到达主控模块等待直到满足要求。如果到达第一次工作时间, 主控模块开启 GPS 定位, 放射性测量传感器采集数据, SD 卡存储时间、位置和放射性测量数据, 最后北斗将数据发送给岸站。数据发送完成后主控模块判断是否需要补发数据, 然后判断是否到达第二次工作时间, 如果未到达则等待直到满足要求。如果到达第二次工作时间, 工作过程同上, 最后转到判断是否到达第一次工作时间, 循环往复。

大浮标一般布放在远海无人值守海域, 大浮标搭载的传感器能否正常工作取决于电池能否提供足够电量。在实际应用测试过程中发现, 如果北斗补发数据时出现卫星信号弱甚至没有信号的情况, 系统就会处于补发数据状态很长时间甚至一直保持到下一次工作时间, 造成浮标电量大量浪费, 影响整个系统在位时长, 甚至影响第二次采集工作, 而且不能通过岸站端远程修改放射性数据采集次数等设置参数。因此将系统工作时间设置为每天工作 2 次、每次工作 4 h, 其中放射性测量传感器工作 3 h, 系统设置参数、经纬度、放射性测量数据等发送 58 min, 补发数据时间 2 min, 补发时间到后系统进入休眠, 4 h 后系统进入 1 h 补发、设置参数时间, 此时可以通过岸站设置系统采样时间、采样间隔等参数, 可以补发从最近日期开始前推直到历史数据全部补发完成, 如果不需补发数据则系统直接进入休眠模式, 如果系统本次未完成所有历史数据补发则等待下次补发时间补发。例如每天早上 5 时放射性

测量传感器开始工作, 早上 8 时开始发送数据, 8 时 59 分开始补发数据, 如果 9 时未补发完成, 则系统进入休眠模式, 等到 13 时系统进入补发时间补发数据, 补发完成或时间到 14 时系统进入休眠模式, 等到 17 时系统开始新的采集数据发送周期, 21 时系统休眠, 第 2 天 5 时进入新的循环。

通过实际测试研究后的主控模块工作流程图如图 7 所示。

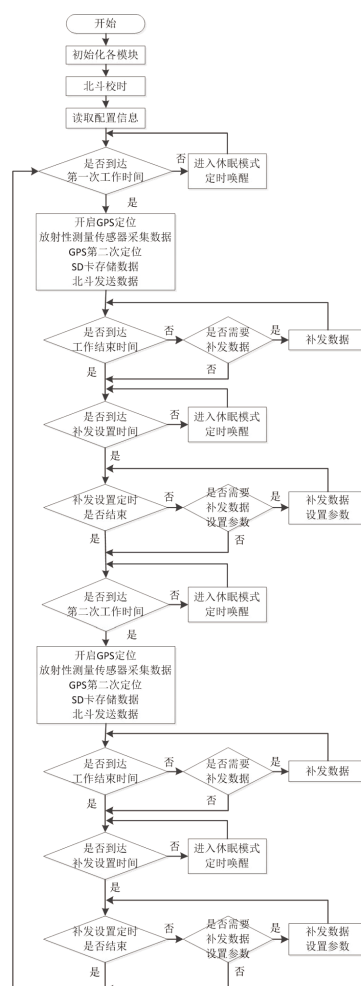


图 7 主控模块工作流程图

Fig.7 The working flow chart of the main module

实际测试研究后的软件增加了远程修改测量参数、工作间隔内进入休眠模式的功能, 解决了因为补发数据未成功始终处于数据发送状态的问题, 系统功耗明显降低。

3.2 放射性测量传感器软件研究设计

放射性测量传感器需要通过主控模块发送采集一定时间的数据的命令来进行伽马射线采集, 采集完成后收到主控模块读取数据命令后将传感器可接受脉冲输入的时间 LiveTime、放射性测量数据

发送给主控模块。

工作初始, 主控模块控制供电模块给放射性测量传感器上电, 主控模块发送命令设置放射性测量传感器增益和偏置, 初始化放射性测量传感器采集时间 TimeH。然后程序执行在判断采集时间 TimeH 是否为 0 的主循环内, 如果为 0 则控制传感器断电, 程序执行完毕。如果采集时间不为 0 则发送采集 60 s 指令, 等待 60 s 发送读取数据指令, 判断是否收到数据, 如果未收到, 程序返回主循环判断 TimeH 是否为 0 处。如果收到数据, 那么根据收到的数据计算 LiveTime 和 60 s 的数据并存储; 然后判断 LiveTime 是否为 60 s, 如果不是则程序跳转到计算传感器实际工作时间 RealTime; 如果是 60 s 则新采集的 1 min 数据与之前数据相加再计算 RealTime 然后返回主循环判断 TimeH 是否为 0 处。

放射性测量传感器工作流程图如图 8 所示。

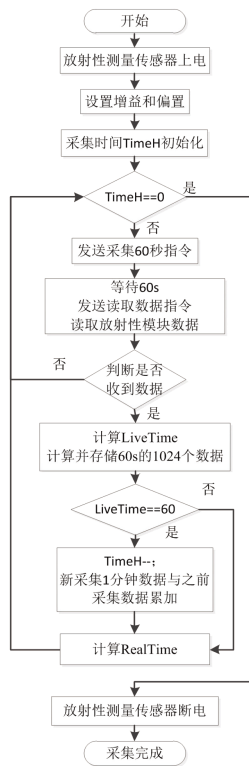


图 8 放射性测量传感器工作流程图

Fig.8 The working flow chart of the radioactive measurement sensor

3.3 GPS 定位模块软件研究设计

GPS 模块采用商用成熟产品, 输出数据使用 NMEA-0183 协议, 本设计使用\$GPGLL 命令接收 GPS 信息, 信息长度为 52 Byte。由于 GPS 模块首次使用是冷启动, 需要下载卫星数据, 正常需要 1~5

min 不等才能定位成功。工作初始, GPS 模块上电, 初始化系统启动时间变量为 300 s, 程序运行在判断是否收到 52 Byte 数据主循环内, 如果未收到继续等待, 如果退出主循环, 首先判断系统启动时间变量是否变为 0, 若为 0 则系统定位不成功, 返回定位超时标志, 关闭 GPS 电源, 退出程序。如果系统启动时间变量不为 0, 则计算经纬度, 判断南北纬和东西经, 最后返回定位成功标志, 关闭 GPS 电源, 退出程序。

3.4 北斗模块软件研究设计

海洋放射性原位测量传感器测量数据量为 4 096 Byte, 而北斗短报文通讯每包数据最多为 78 Byte, 那么放射性测量数据必须分包发送。本设计有 2 种应答包, 设置应答包和数据应答包, 分别代表不同模式下对岸站的应答数据。根据实际数据量, 北斗发送数据分为 59 包。第 0 包代表设置应答包, 第 1~58 包代表数据应答包。应答包由包头和正文 2 部分组成, 其中包头包括包号、年、月、日、时、分共 32 位, 4 Byte。应答包格式定义如表 1 所示。

表 1 应答包格式定义

Tab.1 The format of the answer packet

意义	包头						正文
	包号	年	月	日	时	分	
长度/byte	7	5	4	5	5	6	

设置应答包为通过岸站对浮标端海洋放射性原位监测系统进行参数设置后的应答包, 包头为包号 0 加上时间信息, 正文内容包含新设置的采样间隔、采样时长、补发时间和补发间隔。当岸站服务器收到第 0 包数据后确定新的参数设置成功, 若未设置成功继续发送设置命令。数据应答包为传输的放射性测量传感器的设置参数、经纬度、浮标电池电压、采样间隔、采集时长、采样时间、补发时间、补发间隔、有无数据、放射性测量传感器测量所得数据等的应答包。

由于每包数据包头为 32 位, 包号、年、月、日、时、分每个变量使用的位数不一样, 而北斗发送数据需要按字节发送, 需要对要发送的包头进行编码重新分配, 分为 4 个字节存储在数据分包编码数组中, 同样的将采样间隔、采样时长、经纬度、放射性测量数据等存放在数据分包编码数组中。

数据分包完成后, 使用北斗发送数据需要满足北斗协议才能发送。根据北斗通信协议, 需要将分包完成后的数据存储在北斗发送数组相应的位置。首先北斗模块上电, 初始化需要的变量和数组, 构

建北斗发送数组,将北斗通信帧头写入数组起始位置,然后依次从写入帧长度发送北斗 ID、接收北斗 ID 等信息,然后将要发送的数据写入数组,计算要发送数据的 CRC 校验值并写入数组,最后计算本帧数据的校验和并写入数组。数组构建完成后通过北斗依次将北斗发送数组数据发送,发送完成后北斗模块断电,岸站服务器收到数据后重新解码即可。北斗发送数据流程如图 9 所示。

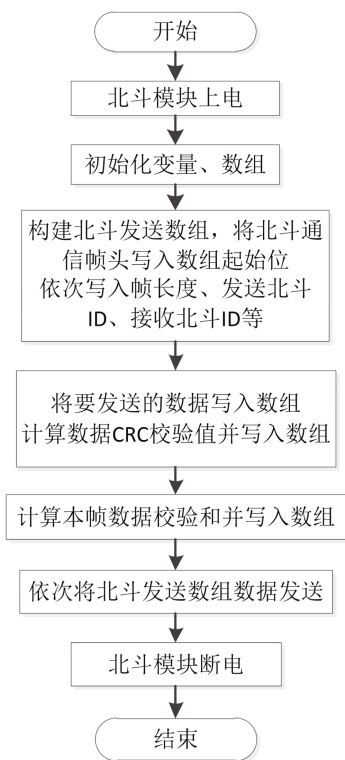


图 9 北斗发送数据流程

Fig.9 The sending process of the Beidou System

4 系统试验测试

将放射性测量传感器、主控模块、北斗通信模块和 GPS 定位模块连接完成后,北斗通信模块和 GPS 外置天线伸出实验室窗外确保能接收到卫星信号,将设计好的软件下载到放射性原位监测系统内,在实验室进行了 1 周测试,天气晴朗时数据平均首次接收率约为 73%,经过第一次补发后数据接收率可以达到 89%,经过第二次补发后数据接收率可以达到 95%以上。阴雨天气时数据平均首次接收率仅仅达到 52%,经过第一次补发后数据接收率可以达到 69%,经过两次补发后数据接收率仅为 87%。数据分析如图 10 所示。

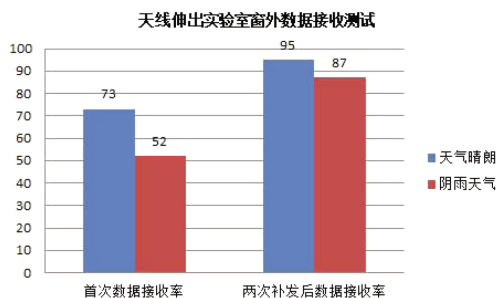


图 10 天线伸出实验室窗外测试

Fig.10 Laboratory test when the antenna is installed outside the window

查找首次数据接收率低原因,发现北斗通信模块和 GPS 外置天线伸出实验室窗外能保证接收到卫星信号;但是由于楼房遮挡,搜索到卫星数量不足,通信不稳定,阴雨天气更加明显。改进后将北斗通信模块和 GPS 外置天线安装在实验室楼顶,在实验室对海洋放射性原位监测系统进行了测试,如图 11 所示。数据接收明显得到改善,天气晴朗时数据平均首次接收率约为 97%,阴雨天气数据平均首次接收率约为 93%,经过两次补发后数据接收率可以达到 100%,如图 12 所示。



图 11 海洋放射性原位监测系统实验室测试

Fig.11 Laboratory tests of the in-situ monitoring system for marine radioactivity

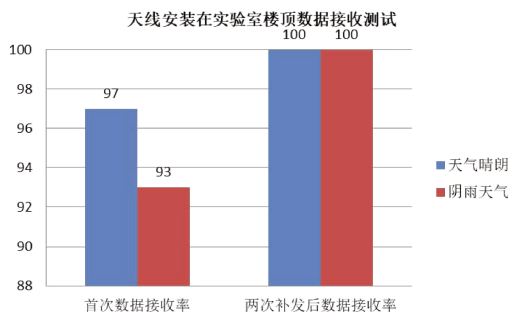


图 12 天线安装在实验室楼顶测试

Fig.12 Laboratory test when the antenna is installed on the roof

改进天线安装位置,提高数据接收率后,将设计好的软件下载到放射性原位监测系统内,在实验

室进行了为期半年的实验室测试,系统数据采集、分包发送、丢包补发、远程修改测量参数,系统工作间隔进入休眠的功能满足设计要求,数据接收率平均98%以上。实验室测试数据显示在上位机软件上,如图13所示。

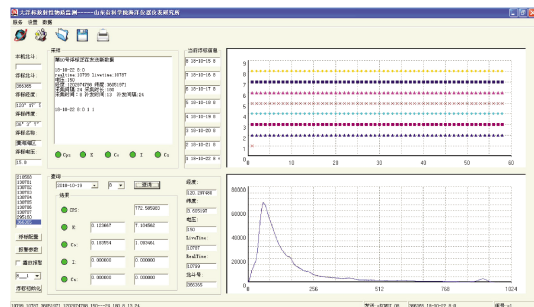


图13 实验室测试数据

Fig.13 Laboratory test data

图13中右下图表显示为接收到了放射性测量数据绘制的谱线,可以明显看到放射性测量传感器所测得的实验室周围环境中的 ^{40}K 峰,其他道址未检测到放射性核素,符合实际环境情况。右上图表

显示的补发数据情况,通过图表可以看出经过数据补发机制,放射性测量数据接收成功率达到了100%。

5 结论

文中研究设计的基于大浮标的海洋放射性原位监测系统能够现场快速地监测海水的放射性,通过北斗通讯的方式将所测得放射性数据发送给岸站,岸站收到数据后计算并显示了放射性测量传感器所测周围环境放射性数据能谱;研究设计的分包发送数据、数据丢包补发机制,解决了海上放射性原位监测数据大数据量稳定可靠传输的问题。远程修改测量参数,增加了系统适应性,可以实现无人值守自动测量。系统工作间隔进入休眠的功能,降低了系统功耗,增加了在位时长。本系统可以实现海洋放射性环境的自动化、连续监测,可以作为国家海洋长期放射性监测预警装置,具有较高的应用价值。

参考文献:

- [1] Yingying Zhang, Changkai Li, Dongyan Liu, et al. Monte Carlo simulation of a NaI(Tl) detector for in situ radioactivity measurements in the marine environment[J]. Applied Radiation and Isotopes, 2015, 98: 44–48.
- [2] Yingying Zhang, Bingwei Wu, Dongyan Liu, et al. Development and deployment of an autonomous sensor for the in-situ radioactivity measurement in the marine environment[J]. Applied Radiation and Isotopes, 2018, 142: 181–186.
- [3] Wu Bingwei, Zhang Yingying, Wu Ning, et al. Hardware system design of radionuclide monitoring in seawater[C]//Wuhan: CAC2015, 2015: 1818–1921.
- [4] 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, 35(11): 2402–2411.
Wang Bo, Li Min, Liu Shixuan, et al. Current status and trend of ocean data buoy observation technology applications [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2014, 35(11): 2402–2411.
- [5] 黄飞龙, 吕雪芹, 陈刚. 海洋气象探测基地——浮标[J]. 海洋技术, 2011, 30(4): 46–56.
Huang Feilong, Lv Xueqin, Chen Gang. Detection Base for Maritime Meteorology—Buoy [J]. Ocean Technology, 2011, 30(4): 46–56.
- [6] 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(2): 118–125.
Dai Honglei, Mou Naixia, Wang Yuchun, et al. Development status and trend of ocean buoy in China [J]. Meteorological, Hydrological and Marine Instruments, 2014(2): 118–125.
- [7] Switzerland ublox co. LTD. U-blox 6 GPS modules hardware integration manual [M/OL]. 2019. <http://www.u-blox.com>.
- [8] 洪常委. 北斗卫星导航系统在海洋浮标中的应用[J]. 声学及电子工程, 2014(2): 41–43.
Hong Changwei. Application of beidou satellite navigation system in ocean buoy [J]. Acoustics and Electronics Engineering, 2014(2): 41–43.
- [9] 谭鉴荣, 吕雪芹, 郎东梅, 等. 基于卫星通信的海洋气象数据采集系统设计[J]. 气象科技, 2013, 41(1): 51–56.
Tan Jianrong, Lv Xueqin, Lang Dongmei, et al. Marine meteorological data acquisition on satellite communication network [J]. Meteorological Science and Technology, 2013, 41(1): 51–56.

[10] 黎明,时海勇. 基于北斗卫星的大型海洋浮标通信机制研究[J].海洋技术,2012,31(1): 1-5.

Li Ming, Shi Haiyong. Research of communication mechanism base on Beidou satellite for large buoy [J]. Ocean Technology, 2012, 31(1): 1-5.

[11] Beijing BDStar Navigation Co. Ltd. BDSC-01 manual [M/OL]. <http://www.bdstar.com>.

Study on the In-Situ System for Monitoring Marine Radioactivity Based on Large Buoy

WU Bing-wei, ZHANG Ying-ying, LIU Yan, LIU Dong-yan, YUAN Da, ZHANG Yun-yan, FENG Xian-dong

Institute of Oceanographic Instrumentation, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Shandong Provincial Key Laboratory of Marine Monitoring Instrument Equipment Technology, National Engineering and Technological Research Center of Marine Monitoring Equipment, Qingdao 266100, Shandong Province, China

Abstract: The in-situ marine radioactivity monitoring can be continuous, real-time and automated, compared with traditional laboratory analysis. The in-situ monitoring system of marine radioactivity based on a buoy is studied in this paper. The radioactivity measuring sensor is used to measure the radioactivity of the surrounding environment. The position of the measured environment is determined by GPS, and the measured radioactivity data and position are transmitted to the shore station by the Beidou system. After the shore station receives the data, it calculates and displays the radioactivity energy spectrum of the surrounding environment measured by the radioactive measuring sensor. A multi-packet transmission and lost data re-sending mechanism is studied to solve the problem that the amount of ocean radioactive data are large, the transmission time is long, and if the data are incomplete, it will cause parsing spectrum errors. Finally, the average receiving rate of long-term data achieves over 98%, and it is possible to use the in-situ marine radioactivity monitoring system to achieve accurate and reliable radioactivity monitoring by long-term laboratory tests.

Key words: in-situ marine radioactivity monitoring; radioactive measuring sensor; large buoy; Beidou communication