

海洋垂直剖面水温实时监测浮标系统研制与应用

张晓芳¹, 贾思洋², 张曙伟³, 裴亮³, 万晓正³, 刘野³

(1. 獐子岛集团股份有限公司, 辽宁 大连 116011; 2. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071; 3. 山东省科学院海洋仪器仪表研究所, 山东 青岛 266071)

摘要: 为了实时、连续地监测獐子岛海洋牧场养殖区域不同深度的温度状况, 为海洋牧场构建和运行提供数据支持, 项目组自行研制了海洋垂直剖面水温实时监测浮标系统, 可以在水深 ≤ 50 m、风速 ≤ 60 m/s、波高 ≤ 15 m的环境下应用。该浮标系统主要包括水面浮标载体子系统和剖面链观测子系统两部分, 浮标载体子系统提供了安全可靠的工作平台; 而剖面链子系统上的不同位置挂有多个水下传感器, 用于测量相应位置的海水温度。耐压试验、温度标定、室内拷机、现场比测、海上拷机的检定数据表明该系统无渗漏、误差小、数据接收率 100%。海上运行 18 个月的结果同样表明, 浮标系统运行稳定, 数据采集和接收率高, 浮标电压稳定。实践表明该浮标系统具有测温精度高、结构简单、使用方便的优点, 具有广泛的应用前景。

关键词: 水温; 垂直剖面; 实时监测; 浮标系统

中图分类号: P716⁺.12 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)05-0109-06
doi: 10.11759/hyxx20140507002

海洋牧场是一种国际公认的有效培育渔业资源、营造海洋人工生态系统的方法。海洋牧场研究、开发和应用已成为主要海洋国家的战略选择, 也是世界发达国家渔业发展的主攻方向之一。海洋牧场是指在特定海域里, 为有计划地培育和管理渔业资源而设置的人工渔场: 即通过在特定海域内建设适宜生物资源增殖的人工生境, 采用放流、底播增殖、移植等方法, 充分利用天然饵料, 集成生物管理、环境控制技术, 实现海洋生物资源量提高和可持续捕捞; 海洋牧场建设需要一整套系统设施和管理体制, 如人造上升流、自动投饵机、鱼群控制设施、水下监视系统、环境监测监控系统 and 资源管理系统等。

环境监测监控系统建设是建设海洋牧场的重要内容。目前我国大部分的海洋环境监测技术仍然依靠船舶观测和台站观测技术周期性的采集海洋表层或有限的一些水层的要素数据, 对于海洋次表层以及深层水下的资料十分稀缺。随着人们对海洋科学认知需求的提升, 仅仅依靠表层或有限水层的要素数据, 难以对我国广阔海域的物理、生物、化学环境等多方面状况进行深入了解, 无法满足全方位的立体监测要求, 不能适应我国海洋经济发展的需要^[1]。

海水温度是海洋水文状况中最重要的因子之一,

常作为研究水团性质, 描述水团运动的基本指标。对于特定海域, 尤其是水层薄、温度变化快的浅海区域, 实时、连续地监测海水温度的时空分布及变化规律, 对海洋牧场的正常运行具有重要意义^[2]。国内外用于海水温度剖面测量的主要设备是 CTD(Conductivity-Temperature-Depth)海洋观测仪, 如加拿大的 G.S. GABLE & ASSOCIATES .Ltd 生产的 OS100CTD 数据探测系统^[3]和挪威的 AANDERAA 温度剖面记录器^[4]等, 这些设备均为自容式, 通常在固定站位或船只拖拽情况下吊放在不同深度逐点巡测海水温度, 不能实时或长时间同步观测温度剖面的变化。

獐子岛集团股份有限公司在大连獐子岛海域已建设完成海洋牧场 2 500 km²。为了实时、连续地监测獐子岛海域海洋牧场水温时空变化规律, 项目组研制了海洋垂直剖面水温实时监测浮标系统, 为獐子岛海域海洋牧场正常运行提供基础数据。相对于剖面浮标的周期性工作方式, 该浮标系统能实现对海洋垂直剖面上温度长时间、实时同步监测。

收稿日期: 2014-05-07; 修回日期: 2014-06-27

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAD23B01)

[Foundation: National Key Technology Support Program, No. 2013BAD23B01]

作者简介: 张晓芳(1979-), 女, 山东莱州人, 硕士, 主要从事海水养殖研究、科研项目管理, 电话: 0411-39016238, E-mail: xiaofang8318@126.com; 贾思洋, 通信作者, 工程师, 主要从事海洋观测工作, 电话: 0532-82899212, E-mail: jiasy@qdio.ac.cn

1 系统组成

研制的海洋垂直剖面水温监测浮标系统是在总结国际先进经验的基础上创新而成的,技术指标见表 1,浮标系统示意图见图 1。该浮标系统包括水面浮标载体子系统和剖面链观测子系统。

1.1 浮标载体子系统

浮标载体子系统包括浮标体、系留系统、数据

采集处理控制系统、通信系统、供电系统、定位系统、岸基数据接收处理系统等组成。

浮标体采用小型轻质浮标。标体为圆球型结构,采用单点锚泊系留,浮标壳体采用不锈钢 304 材质加工,其他部位全部采用不锈钢 316 加工。主浮标壳体直径 1.2 m,采用模具成型加工,壳体表面包覆一层玻璃钢,增加浮体的耐腐蚀性和美观性。壳体内部装有蓄电池(大容量锂亚电池)、采集控制器、通信设备等。

表 1 实时监测浮标系统工作环境

Tab. 1 Parameters for real-time monitoring buoy system

参数	参数范围	参数	参数范围
最大风速	≤ 60 m/s	相对湿度	0~100%
最大波高	≤ 15 m	布放点水深	≤ 50 m
最大潮差	≤ 5 m	浮标体直径	1.2 m
最大表层流速	≤ 3 kn	系留方式	单点系留
温度测量范围	-5~40℃	数据传输	CDMA/GPRS 通信方式
环境温度	-20~60℃	数据接收率	≥ 95%

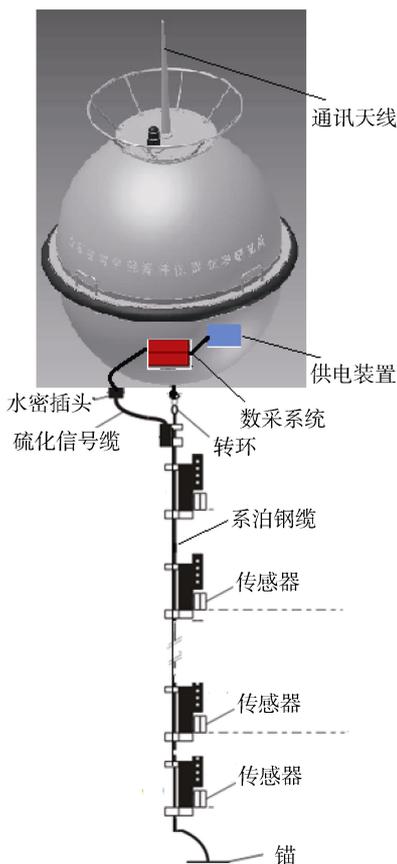


图 1 浮标系统示意图

Fig. 1 Diagrammatic sketch of buoy body

系留系统采用直径 12 mm 不锈钢 316 钢丝绳和直径 16 mm 锚链组合构成,锚链与钢丝绳连接端装

有转环组。便于布放和回收。

数据采集处理控制系统为整个系统的核心,负责各分层水温传感器数据的采集、数据处理、数据存储、数据传输,并随时响应岸基接收站的遥控指令。原始数据存放在 CF 卡中,并通过 GPRS/CDMA 发送,发送不成功具有补发功能。

岸站接收系统是整个系统的重要组成部分,其主要功能是实时、准确、可靠的接收和处理浮标数据,并具有即时报警、数据查询统计及遥控等功能,给用户研究使用提供方便。系统能同时接收 CDMA/GPRS 传输的数据,并对数据进行相应的处理、显示和存储。图 2 为岸站接收界面。

1.2 剖面链观测子系统

温度传感器采用自行研制的铂电阻型测温探头,其测量范围-5~40℃,精度 0.01℃。从海平面开始,每 3 m 一层,共设置 9 层。剖面链电缆采用高强度四芯电缆,将温度传感器或温度传感器模块的供电和输出信号进行并行连接,连接处进行橡胶硫化,并进行铠装保护,以保证温度链整体在 50 m 水深环境下的水密性。采用不锈钢钢壳封装温度传感器,硫化时暴露在外面,便于测量水温。同时为了增加温度链的抗拉强度在传感器中特别制作了钢制强度加强结构,最大限度的提高温度链在海水中的抗拉能力。

剖面链观测子系统整体超低功耗设计,工作结束后系统处于休眠状态,待机电流控制在 10 mA 以内。



图 2 岸站接收界面

Fig. 2 Shore station receiver interface

2 实验结果

2.1 室内试验

2.1.1 耐压试验

在实验室，对温度链传感器施加 2 MPa 压力，经过 48 h 的压力试验，温度传感器正常工作，九层水温传感器传回数据温度稳定可靠，温度传感器及电缆无破损渗漏现象。

2.1.2 温度标定

在恒温槽对温度链系统进行标定，标定温度分别为-5、0、5、10、15、20、25、30、35℃，当温度稳定到 0.01℃ 时开始读数，稳定后每隔 5 min 读数一次，读 6 次取平均值。具体标定温度值见表 2。从表 2 中得出结论，9 个传感器在-5~35℃，与标定值最大误差为 0.3℃，基本稳定在 0.2℃ 以内。通过浮标内部程序修正后，精度可达 0.1℃。

表 2 温度链恒温槽标定报告

Tab. 2 Calibration report of temperature chain in a constant-temperature bath

剖面层	水深(m)	实测温度(℃)								
		-5	0	5	10	15	20	25	30	35
1	3	-4.8	0.25	5.11	10.14	15.03	19.86	24.78	29.78	34.80
2	6	-4.9	0.19	5.02	10.03	15.00	19.83	24.75	29.80	34.76
3	9	-4.8	0.24	5.08	10.08	15.02	19.84	24.78	29.80	34.75
4	12	-4.8	0.25	5.16	10.17	15.10	20.17	24.75	29.76	34.82
5	15	-4.8	0.26	5.18	10.16	15.10	19.90	24.78	29.77	34.86
6	18	-4.9	0	4.90	9.8	14.80	19.70	24.73	29.75	34.83
7	21	-4.8	0	4.90	9.85	14.80	19.73	24.71	29.81	34.89
8	24	-4.7	0.10	5.00	10.0	14.93	19.75	24.75	29.86	34.75
9	27	-4.8	0.08	4.80	9.8	14.75	19.73	24.86	29.72	34.80

2.2 室内拷机

耐压试验和温度标定结束后，将温度链系统、数

采系统、数据传输系统、岸站接受系统一起进行不间断拷机，系统在 48 h 拷机中运行平稳，数据正常，

浮标数据接收率为 100%。

2.3 现场比测

在獐子岛渔业集团的科研船上，对温度链系统进行现场比测，比测时将 9 个温度传感器绑在一起，同时将比测用高精度温度传感器和 9 个传感器绑在一起放到海水中，水深 1.5 m，放在海水中稳定 0.5 h 后开始读数，10 min 读一次数据，共读 10 次，经现场比测，9 个传感器的温度稳定性很好，最大

误差不超过 0.2℃。温度链传感器现场比测数据见图 3。

2.4 海试拷机

浮标系统整体组装完成后在青岛海域下水进行海试，浮标入水后姿态平稳，系统整体在海中连续拷机 2d，浮标供电系统、采集系统、通讯系统等设备正常运行。浮标数据接收率为 100%，数据接收正常。温度链海中拷机数据见图 4。

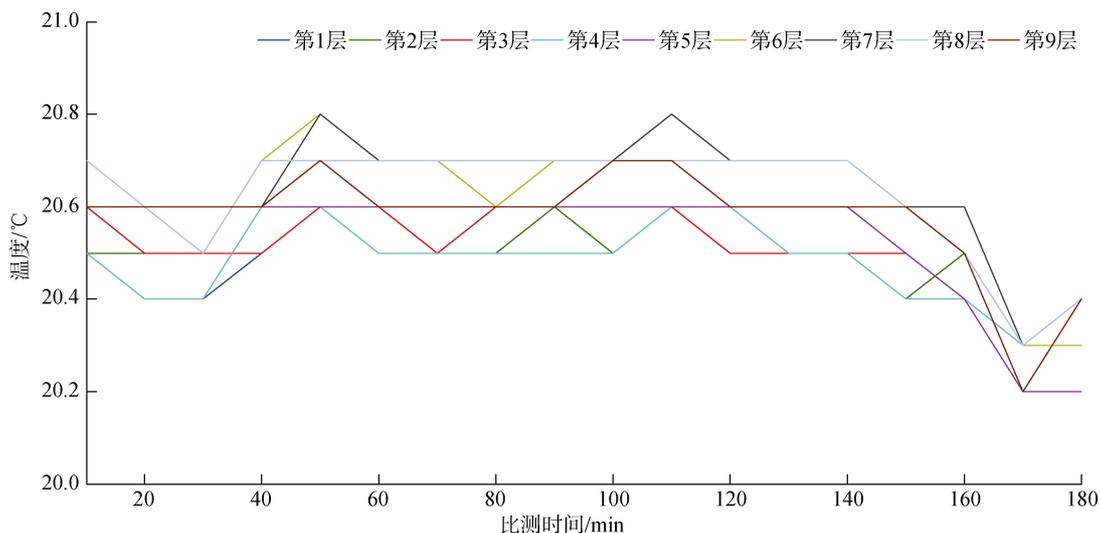


图 3 温度链传感器现场比测数据

Fig. 3 Comparative test data of temperature chain on site

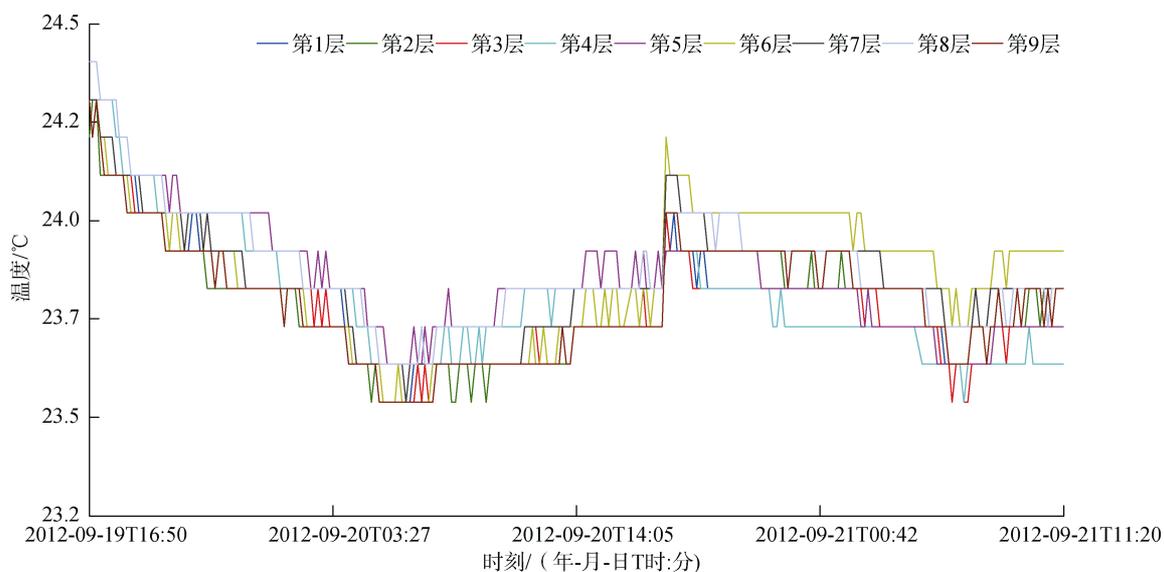


图 4 温度链海试拷机数据

Fig. 4 Sea test data of temperature chain

2.5 现场应用

布放时，采用工程船吊车吊起重力锚放入水中，同时

布放不锈钢锚链，然后将钢缆和温度链放入水中，最后将浮标吊入水中。在重力锚上安装回收钢缆，放到海底。

浮标于 2012 年 9 月 23 日布放成功布放于指定站位, 布放过程顺利, 岸站接收数据正常。迄今运行一年多, 电压稳定, 浮标系统仍正常运行。

图 5 为该剖面浮标系统于 2013 年 6 月份在獐子

岛海域测试的水温变化情况, 从图 5 中看出, 表层水温日变化幅度较大, 且水深 15 m 以上每层温度差异较大, 18 m 层以下, 每层之间的温度差异小, 且日变化幅度较小。

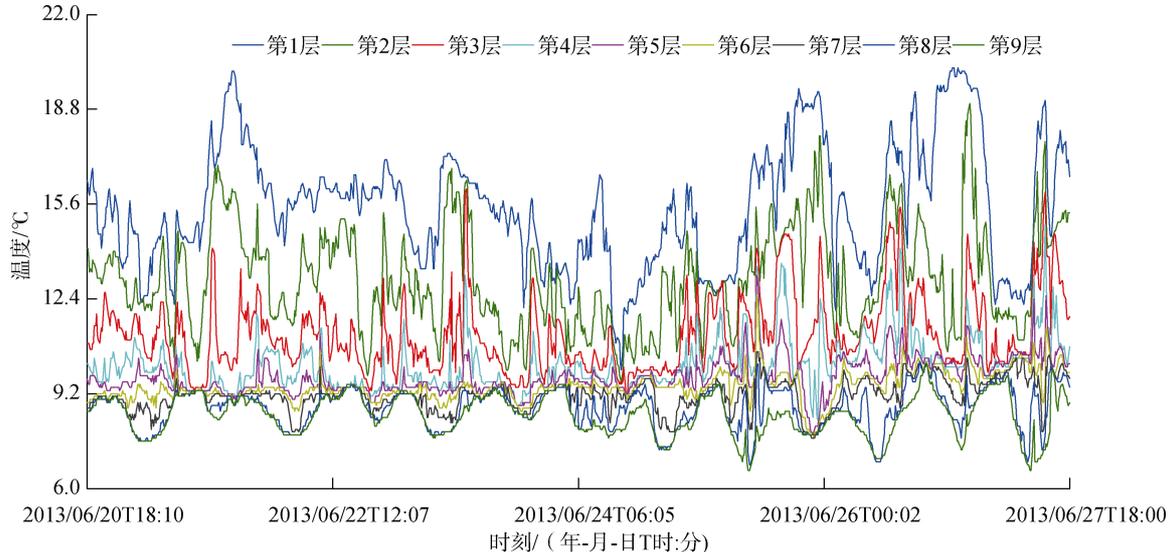


图 5 监测浮标系统实时采集的数据

Fig. 5 Real-time data of monitoring buoy system collected

3 结论

项目组研制的海洋垂直剖面水温实时监测浮标系统, 经过室内耐压试验、恒温标定、室内拷机、海试拷机、现场比测后投入使用。自投放至今运行 18 个月, 浮标系统运行稳定, 数据采集和接收率高, 浮标电压稳定, 具有测温精度高、结构简单、使用方便的优点, 实现了獐子岛海洋牧场多层水温的实时观测, 为獐子岛海洋牧场正常运行提供了基础数据支持, 具有广泛的应用前景。

参考文献:

[1] 翁杰, 刘敬彪, 于海滨. 海洋定点垂直剖面监测控制系统研制[J]. 计算机系统应用, 2010, 19(4): 108-111.
Weng Jie, Liu Jingbiao, Yu Haibin. Research and design of an ocean fixed-pointed vertical profiler monitor

and control System[J]. Computer Systems and Applications, 2010, 19(4): 108-111.

[2] 邵毅, 李建国, 李家顺, 等. 轻型感应耦合数据传输温盐链系统[J]. 海洋技术, 2009, 28(3): 36-39.

Shao Yi, Li Jianguo, Li Jiashun, et al. The light-duty temperature and salt chain system of inductive coupling data transmission[J]. Ocean Technology, 2009, 28(3): 36-39.

[3] 张云鹏, 王淑印, 蒋德军, 等. 海水温度测量传感器链[J]. 应用声学, 1996, 15(2): 7-11.

Zhang Yunpeng, Wang Shuyin, Jiang Dejun, et al. Seawater temperature Sensor Chain[J]. Applied Acoustics, 1996, 15(2): 7-11.

[4] 钱炳兴, 李正坤, 候温良. 海洋垂直温度剖面实时监测系统[J]. 声学技术, 1999, 2: 59-60.

Qian Bingxing, Li Zhengkun, Hou Wenliang. A real-time monitoring and recording system for ocean temperature profiles[J]. Technical Acoustics, 1999, 2: 59-60.

Research and application of real-time monitoring buoy system for marine water temperatures of vertical profiles

ZHANG Xiao-fang¹, JIA Si-yang², ZHANG Shu-wei³, PEI Liang³, WAN Xiao-zheng³, LIU Ye³

(1. Zhangzidao Group Company Limited, Dalian 116011, China; 2. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. Institute of Oceanographic Instrumentation, Shandong Academy of Sciences, Qingdao 266001, China)

Received: Mar. 11, 2014

Key words: water temperature; vertical profiles; real-time monitoring; buoy system

Abstract: The construction of marine ranches is an important shift from the practice of traditional fishing to modern fisheries and represents a movement away from the predatory exploitation of marine fishery resources to environment-friendly and sustainable practices. The construction of ecological environment monitoring systems is an important part of marine ranch construction. For real-time, continuous monitoring of temperature conditions at different depths of farming areas on the Zhangzidao Island marine ranch and to provide scientific data to support the construction and operation of the marine ranch, we have developed a real-time monitoring buoy system that can be used at a water depth of less than 50 m, at a wind speed of less than 60 m/s, and in wave heights of less than 15 m. The buoy system comprises a buoy carrier subsystem and a vertical observing subsystem. The carrier subsystem provides a safe and secure work platform, and sensors that are linked at different depths on the vertical observing subsystem are used to measure water temperature. Data obtained from a pressure test, thermostat calibration test, indoor simulation experiment, in-situ test, and field measurements have shown no leakage and small errors. However, most importantly, a data acceptance rate of 100% can be reached. Results from 18 months of actual marine application have shown that the buoy system is stable, the data acquisition and receiving rate is high, its voltage is stable, and it has a high temperature accuracy. In addition, it has a simple structure and is easily employed, thus has widespread application prospects.

(本文编辑: 刘珊珊)