

船载海水温度观测研究

朱洪海^{1,2,3,4}, 祁国梁^{1,2,3,4}, 刘茂科⁴, 王志^{1,2,3,4}, 杨俊贤^{1,2,3,4}, 贺亚楠¹,
刘帅¹

(1. 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 青岛 266061; 2. 山东省海洋环境监测技术重点实验室, 山东 青岛 266061; 3. 国家海洋监测设备工程技术研究中心, 山东 青岛 266061; 4. 山东省经海仪器设备有限公司, 山东 青岛 266061)

摘要: 通过研究国家相关海洋观测标准对海水温度观测的规约, 结合当前船载水温观测的现状, 提出了基于总线的船载磁吸附温度链式观测方法, 并对其在结构设计、理论模型、算法等多方面进行了阐述。通过多个竖直分布的温度传感器实时观测, 采用自适应参数化算法, 有效减少了风浪、海流、热辐射等方面的影响, 具有观测层深相对固定、精度高等特点, 可实现船载全航次的自动观测。同时, 设计制造了相关的模拟实验装置进行现场实验, 验证了船载磁吸附温度链式观测方法的可行性和有效性。

关键词: 海水温度; 磁吸附; 温度链; 模拟仿真; 总线

中图分类号: TP212

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2021)05-0087-09

DOI: 10.11759/hyqx20201105002

海水温度是海洋物理性质中最基本和最重要的要素之一, 是海水热力学研究的重要物理量^[1], 是支配海水运动的重要因素, 对天气、气候的状况有十分重要的影响^[2], 能直接反映全球气候变化和全球海洋整体特征分布^[3]。海水温度在不同海区、不同季节、不同垂直层次呈现出不同的变化, 同时受到天气、洋流、径流等因素的影响, 其连续变化性呈现一定的规律。海水温度测定和研究对我们研究海洋物理、化学、生物、地理等方面都具有非常实用的价值^[4], 对于沿海海洋生态环境、海上养殖和捕捞作业、滨海旅游、赤潮预报以及军事国防等都有重要意义^[5]。

随着卫星观测精度的不断提高, 目前已经可以提供海面温度的格点资料, 但还达不到船舶观测的精度^[3]。随船海水温度观测仍是我们当前不可或缺的数据获取手段, 是全球天气网的重要组成部分, 对提高海洋环境预报的准确率, 保障船舶航行安全有极其重要的意义。同时, 船舶能够根据本站观测数据对气象部门发布的天气预报进行修订, 以便船舶能更好地完成航行任务^[6]。

1 海水温度观测要求

海水温度观测的要求和方法, 随观测海域及观测目的的不同而有所不同。

1.1 观测准确度要求

根据项目的要求和研究目的, 兼顾观测海区和观测方法, 相关海洋观测规范中规定: 海水温度观测的单位为 $^{\circ}\text{C}$, 并将海水温度观测的准确度等级分为三级^[7-8]。而在船舶海洋水文气象辅助测报规范的表层海水温度观测要求中, 未对观测准确度进行分级要求, 规定准确度为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$, 观测数据记录到 0.1°C ^[9]。

1.2 观测层深要求

以下是相关海洋观测国家标准对观测层深的规定。

《GB/T 14914.2—2019 海洋观测规范第 2 部分: 海滨观测》^[7]中规定表层海水温度是指海水表面到 0.5 m 深处之间的海水温度。

在《GB/T 17838—2017 船舶海洋水文气象辅助测报规范》^[9]中去掉了海水水温表层的明确规定。在自动观测方法的表述中指出可以从船体进水口处安装海水温度传感器。

收稿日期: 2020-11-05; 修回日期: 2021-03-02

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC1405604)

[Foundation: the National Key R&D Program of China, No. 2017YFC1405604]

作者简介: 朱洪海(1976—), 男, 工程硕士, 高级工程师, 主要从事计算机应用与海洋仪器仪表研究, E-mail: hyyq@qlu.edu.cn; 祁国梁(1971—), 通信作者, E-mail: hyyqyb@163.com; 刘茂科(1988—), 通信作者, E-mail: hyyqyj@163.com

船体进水口入水深度随船舶的吃水线变化而变化,而船舶的吃水线随其载重的不同而浮动,大型船舶上下浮动可能超过 10 m 以上。部分船舶有不止一个进水口,这些入水口深度不同,根据船舶吃水线的变化船上会选择入水口的使用。由此可知,通过船体进水口来进行水温的观测,其观测深度是变化的,不确定的。

1.3 观测频度要求

海水温度观测频度的要求与观测方法有直接的关系。一般来说,自动观测方法采用连续观测的方式,人工观测方法采用定时观测的方式。

《GB/T 14914.2—2019 海洋观测规范第 2 部分: 海滨观测》^[7]对自动观测的要求到每分钟,整点前一分钟的平均值作为该整点的观测值。人工观测未明确频度要求。

《GB/T 17838—2017 船舶海洋水文气象辅助观测规范》^[9]自动观测也是连续观测,人工观测也未明确频度。

《GB/T 12763.2—2007 海洋调查规范第 2 部分: 海洋水文观测》^[8]中要求: 大面或断面观测,船到站观测一次;连续测站一般每小时观测一次。《海洋调查方法》^[10]中建议: 如果有可能,最好连续记录,间隔越短越好。

2 观测设备与方法

海水温度的观测分为人工观测方法、自动观测方法和遥感法等。

观测仪器设备包括表层水温表、颠倒温度计、温盐传感器、温盐深仪(CTD)、抛弃式温盐深仪(XBT)、抛弃式温盐深仪(XCTD)、走航式 CTD、机载抛弃式温度计(AXBD)、漂流浮标、Argo 浮标机载红外辐射计、海水温度扫描仪、海洋水色扫描仪、高分辨率辐射计及可见光、红外线扫描仪等。

相关仪器设备的操作规程已经非常成熟完善,操作方法与步骤须严格按照相关标准或规程操作。人工观测方法中的工作人员,应该熟知仪器设备的性能和操作规程,对于科考船和调查船来说不存在问题,但对于志愿观测船来说,发展人工观测的难度很大。

固定站点温盐井进行表层水温观测,一般采用将传感器安装在专用浮体上的方式,如图 1 所示。浮体随潮位变化升沉,实现定水层观测。这种方式简捷稳定,在目前海洋站的业务化观测中被广泛采用。



图 1 温度传感器浮子式安装图
Fig. 1 Float installation of the temperature sensor

由于船舶的吃水线变化、航行以及波浪等各种因素的影响,走航式定水层观测的实现要复杂一些。如采用拖曳体、多参数剖面测量系统(MVP)^[11]等进行观测,这种观测一般需要限制船只的行进速度,对船只本身也有一定要求,仅适用于科考船和调查船。

依据《GB/T 17838—2017 船舶海洋水文气象辅助观测规范》^[9],在志愿船自动观测系统中开始采用船体入水口管道口安装的方式,如图 2 所示,实现船载水温的自动观测。如前文所述,船舶吃水线的变化,其观测层深有不确定性。

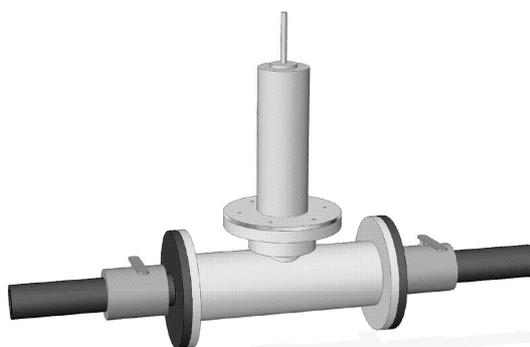
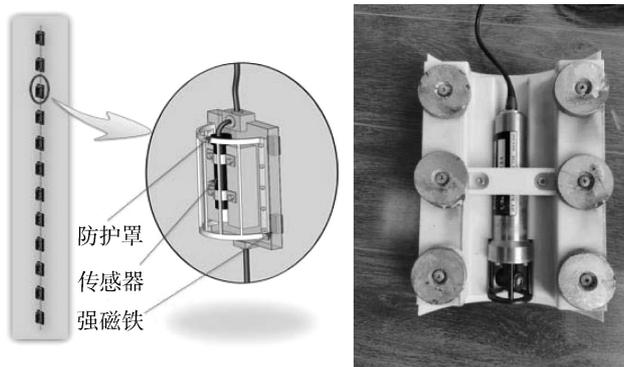


图 2 温度传感器入水口管道安装图
Fig. 2 Inlet pipe installation of the temperature sensor

3 船载磁吸附温度链式观测方式研究

将多个温度传感器组成链式结构,利用强磁吸附的方式,将链式结构吸附于船侧或者设备观测井内。多传感器同时观测,采用 RS485 总线方式传输数据,并构建算法去除船舶运动起伏的影响,得到表层水温,实现船载全航次的自动观测,如图 3 所示。



(a) 磁吸附温度链示意图 (b) 磁吸附温度链实物图

图 3 磁吸附温度链式观测方式

Fig. 3 Magnetic adsorption chain observation method

3.1 搭建模拟仿真实验装置

仿真试验装置为温度链提供了一种可重复实现、可量化的船舶与水面的相对运动模拟场景，可以精确仿真不同幅度和周期的船舶运动，仿真装置主要包括控制主机和执行机构两大部分。其中控制主机由 PLC 和人机界面组成，作用是控制执行机构按照设定好的动作运动；执行机构由步进电机、绞车和支架组成，执行主机的控制逻辑，实现船舶水面相对运动的模拟和仿真。主机通过控制步进电机带动绞车转动，固定在绞车钢缆上的温度链装置随着钢缆的上下起伏而运动，与水面产生相对运动，由于上下运动的速度和位移不同，从而模拟出不同周期和幅度的运动场景，原理如图 4 所示。仿真模拟装置实物如图 5 所示。

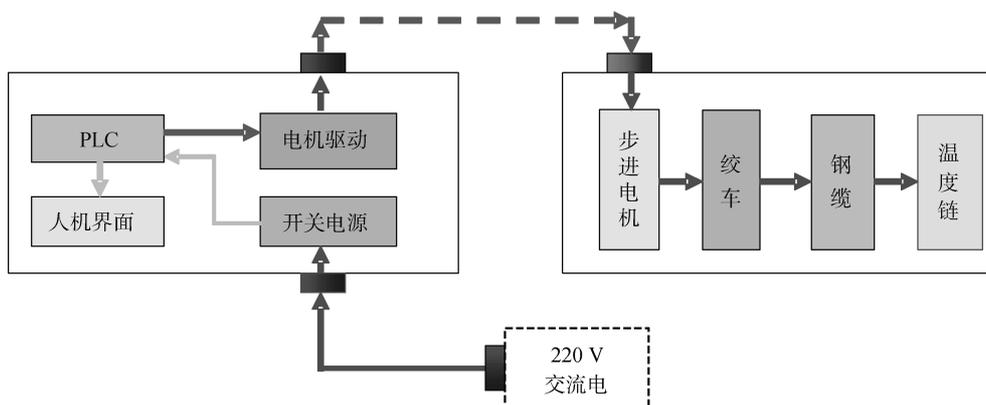


图 4 模拟仿真实验装置原理图

Fig. 4 Schematic of the simulation experiment device



图 5 模拟仿真实验装置实物图

Fig. 5 Photo of the simulation experiment device

3.2 仿真实验

3.2.1 温度链工况分析

温盐链由多个传感器串行垂直排列在船侧表面，由于受到风浪、船舶升沉运动等的影响，单个传感器的入水状态可以分成 3 类：

- 1) 始终浸没在水面之下：传感器温度测试数据属于对应深度的水温(海水温度随深度变化而变化，传感器受到风浪、船舶升沉运动的影响，观测数据也是变化的)。
- 2) 在水和空气中往复运动：传感器从水到空气(或者空气到水中)，是一个动态吸热或者散热的过程，观测数据有较大的变化。
- 3) 一直处于空气中：虽然受到风、热辐射等影响，温度有所变化，但幅度很小，其值基本与气温一致。

由此可见，温度链上传感器的测量数值是动态变化的，需要进行精确的数据处理，才可得到准确的表层水温。

3.2.2 理论分析

针对传感器的各个工况：

- 1) 空气中的测试数据是无效的，与表层海水温度无关。
- 2) 温度链各个传感器的深度无法测量，并且是动态变化的，只有通过深度值才能找到测试数据与

表温的关系, 现有温度链装置并不提供深度测量。

3) 传感器随水面升沉过程, 观测数据的动态变化是海面温度和空气温度的一个动态阶跃响应, 通过对其动态过程的分析可以得到相对较精确的表温值。

(1) 传感器运动状态分析

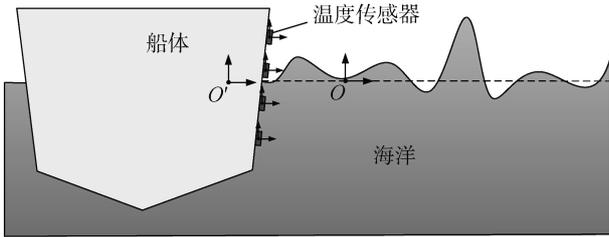


图6 温度链安装示意图

Fig. 6 Installation of the magnetic adsorption chain

以海平面为固定坐标系, 传感器随船体坐标系做升沉运动(如图 6), 对其运动过程进行分析, 可以得到第 k 个传感器距离海水表面的竖直距离:

$$h(k, t) = f_{浪}(t) - \left[\frac{m_{船} - m_0}{\rho_{水} g S_{船}} + f(k) + f_{滑移}(k) + f_{船}(t) \right], \quad (1)$$

其中, $\frac{m_{船} - m_0}{\rho_{水} g S_{船}}$: 船体吃水深度; $f(k)$: 第 k 个传感器在船体坐标系中的竖直坐标; $f_{船}(t)$: 船体坐标在竖直方向上的位移; $f_{滑移}(k)$: 传感器在船体坐标系中竖直方向上的滑移位; $f_{浪}(t)$: 波浪在第 k 个传感器位置竖直方向上的点位移。

由公式(1)可以看出: $\frac{m_{船} - m_0}{\rho_{水} g S_{船}} + f(k) + f_{滑移}(k)$ 是不变的, $h(k, t)$ 的运动规律主要由 $f_{浪}(t)$ 和 $f_{船}(t)$

$$T_{wat} = \frac{M \sum_{k+1}^{k+M} \left[\exp\left(-\frac{t_{k+M} - t_{k+1}}{T}\right) \right] x_m - \left\{ \sum_{k+1}^{k+M} \left[\exp\left(-\frac{t_{k+M} - t_{k+1}}{T}\right) \right] \right\} \left(\sum_{k+1}^{k+M} x_m \right)}{M \sum_{k+1}^{k+M} \left[\exp\left(-\frac{t_{k+M} - t_{k+1}}{T}\right) \right]^2 - \left\{ \sum_{k+1}^{k+M} \left[\exp\left(-\frac{t_{k+M} - t_{k+1}}{T}\right) \right] \right\}^2}, \quad T = \frac{t_{k+2} - t_{k+1}}{x_{k+2} - x_{k+1}}, M > 4. \quad (3)$$

表温计算过程是根据传感器入水的动态温度变化来计算, 由公式(3)可以看出计算结果只与动态温度序列有关, 与温度传感器的位移或者相对于海水面的高度均无关系, 因此由于船体的不规则形状(非竖直)以及人工粘贴导致的温度传感器的位置误差不会影响表温的计算精度。

3.3 仿真实验数据分析

3.3.1 计算机仿真分析

借助 Matlab 计算平台, 以 3.2.2 所建立的数学模

型为基础, 对多个传感器的数据采集过程进行仿真分析。

决定(二者都可以看作低频有规律运动)。传感器测试温度数据过程中, $h(k, t)$ 符号变化过程即是出水或入水的过程, 保留了 $f_{浪}(t)$ 和 $f_{船}(t)$ 的一部分频域特性, 因此可以通过对传感器测试的温度数据进行频域相关的分析, 可以判别出传感器的实时状态。

(2) 表温计算

温度传感器从水到空气(或空气到水)中, 可以简化成一阶惯性环节^[12-13], 如下:

$$T_{wat} = T_R + \frac{C_R m l}{\lambda_{wat}} \cdot \frac{dT_R}{dt} \text{ 或 } T_{air} = T_R + \frac{C_R m l}{\lambda_{air}} \cdot \frac{dT_R}{dt}, \quad (2)$$

T_R : 温度传感器温度; T_{air} : 空气温度; λ_{air} : 空气中综合传导系数; T_{wat} : 表层海水温度; λ_{wat} : 海水中综合传导系数; C_R : 温度传感器的热容; m : 温度传感器的热传导有效质量; l : 温度传感器进行热传导的有效厚度。

通过公式(2)可以看出: 温度传感器的测量值和海面温度是一阶线性变化的关系, 忽略传感器动态变化带来的相位延迟影响, 可以将传感器每次的入水过程看作是一个有限时间内的阶跃响应, 通过在这个过程中温度变化规律推算出海面温度。

由于整个过程容易受海流、热辐射等的影响, 公式(2)中的响应时间系数、传感器起始温度不是一成不变的, 计算过程必须采用自适应参数进行实时计算。具体的, 针对在 t 时刻之前的 t_0 时间段内采集序列 (x_1, x_2, \dots, x_n) 中提取一组有效的阶跃响应序列 $(x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_{k+M})$, 对应时间点 $(t_{k+1}, t_{k+2}, \dots, t_{k+M})$ 通过最小二乘法对数据进行一阶惯性环节的拟合^[14-16], 推算出海面温度值, 具体理论结果如下:

型为基础, 对多个传感器的数据采集过程进行仿真分析。

3.3.1.1 工况 1

传感器运动规律为标准的正弦运动, 运动幅度 0.5 m, 空气温度低于海水温度, 2 支传感器间距 0.6 m (1 支在水面往复运动, 1 支始终浸没在水中), 仿真和实验结果详见图 7 和图 8。通过仿真和实验结果对比可以看出: 仿真和实验结果相吻合,

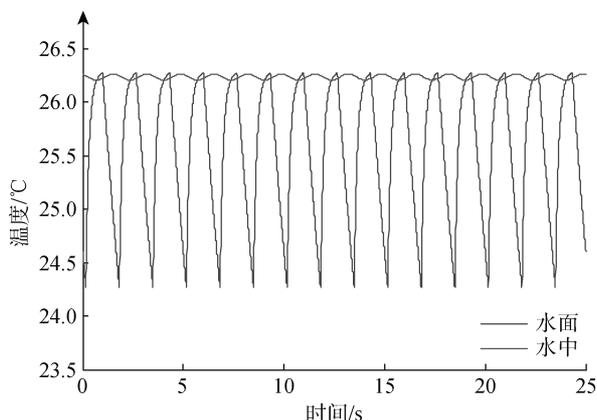


图 7 正弦运动仿真结果

Fig. 7 Simulation result by sinusoidal motion

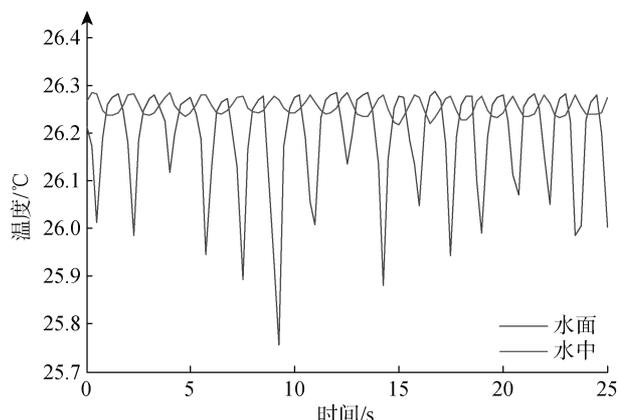


图 8 正弦运动实验结果

Fig. 8 Experimental result by sinusoidal motion

3.3.1.2 工况 2

传感器运动加入波浪运动。在空气温度小于海面温度情况下，对 9 个传感器(竖直间隔 0.25 m)的采集过程进行仿真分析，详细结果见图 9。可以看出：

在波浪运动的影响下，采集的数据更加不规则，但在吃水线(图 9 中的“高”表示传感器距离吃水线的高度) ± 0.75 m 以内的传感器仍然具有很好的一阶惯性环节响应的规律，本文中的计算方法具有可行性。

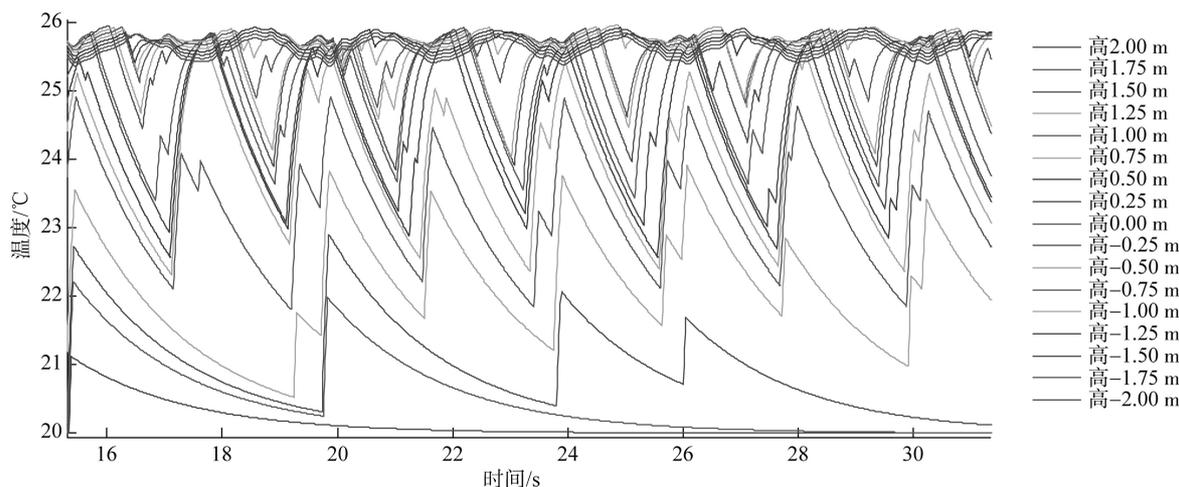


图 9 船舶运动起伏影响下的温度传感器采集过程仿真

Fig. 9 Simulation of temperature sensor acquisition process under the influence of ship motion fluctuation

3.3.2 计算的验证

3.3.2.1 模拟实验验证

由于海况不可控制以及海试风险、成本较高，难以通过海洋实验来验证大幅度海浪情况下的表温计算的有效性，因此设计出图 5 所示的实验模拟装置，可以通过调整温盐链的往复运动的幅度和频率来模拟海上不同等级的海况，用以验证本文所述表温计算的有效性和可靠性。

根据仿真分析和模拟实验采集的动态过程对比(详见图 10)，可以看出：

1) 仿真结果和实验结果相吻合，说明 3.2.2 所述

的数学模型和计算模型的设定是与实际相符合的。

2) 仿真的理论温度和实验结果计算值是接近的，说明通过一阶惯性环节的动态计算是可行的，并具有较高的精确度。

3) 计算是根据传感器入水动态过程反演而得，传感器响应时间在 1 s 以内，感温时间相对较快。

基于本文所述的计算方法，借助仿真模拟实验装置，在标准的正弦运动工况下进行模拟实验，并将计算结果和实测表温的对比(详见图 11)，可以看出实验计算结果和实测表温相吻合，误差范围在 ± 0.1 °C 范围之内，并具有较高的准确性。

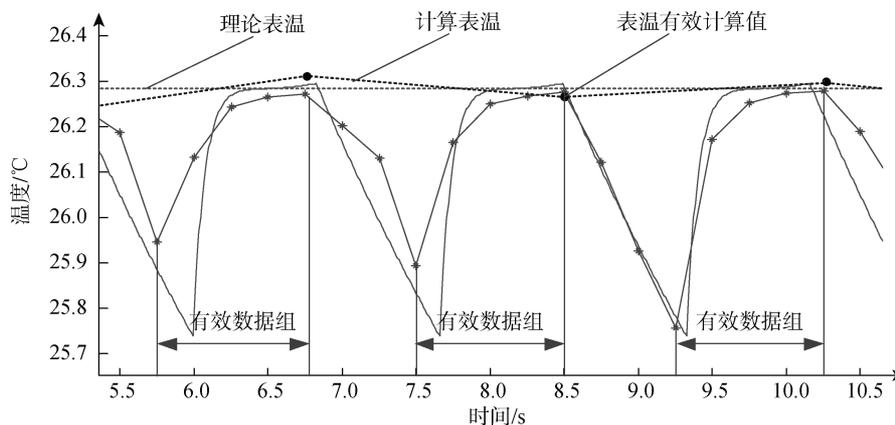


图 10 水面传感器采集过程的仿真与实验对比

Fig. 10 Comparison between the simulation and experiment results on data acquisition

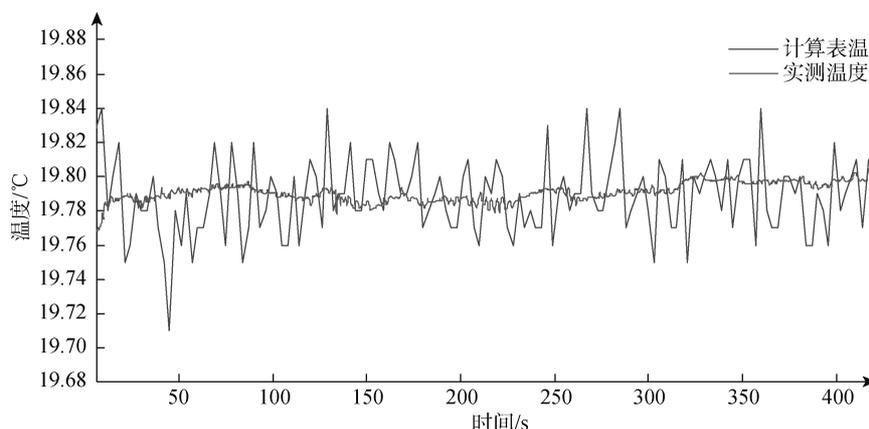


图 11 海水表温实验结果和实测温度对比图

Fig. 11 Comparison of the experimental results and measured sea surface temperatures

3.3.2.2 实际应用验证

基于本文所述的计算方法，以实验用趸船作为应用对象，以标定的温盐传感器作为比测对象，进行实际应用验证。内容如下：

1. 应用环境

1) 按照本文“3.2.1 温度链工况分析”所述的安装方式将 3 个温度传感器模块吸附在趸船侧面(强磁铁吸附)，安装位置如图 12 所示。

2) 应用地点为青岛市中苑旅游码头旁边的海岸线附近，趸船处于实际的海水域，在风浪影响下做升沉运动，可在一定程度上替代船舶走航过程中的状态。

2. 比对数据

1) 采用趸船实验标定的温盐传感器(海水表面测温，如图 12 作为比对传感器。

2) 比对温盐传感器和实际应用的温度传感器距离不超过 2 m。

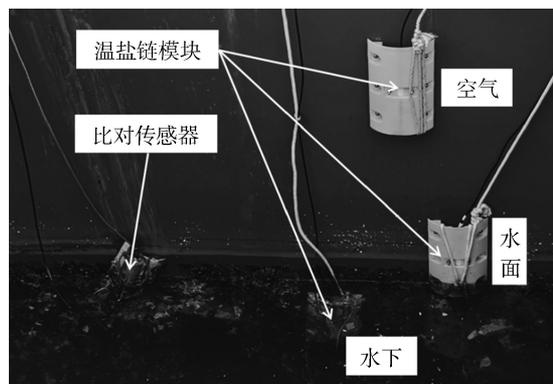


图 12 趸船实际应用验证现场
Fig. 12 Photo of the application site

3. 应用验证时间

1) 选择海浪较大天气进行实验，具体日期为 2020 年 12 月 3 号。

2) 验证时长为 300 min。

3) 温盐链用传感器和比对传感器：同一时间和

地点进行实时采集温度数据和比对。

4. 实验结果

1) 温盐链测量温度和比对传感器的实测表温对比结果如图 13, 可以看出温盐链结果跟实测表温的

变化趋势一直, 与实际相符合。

2) 误差分析: 温盐链测量数据和实测表温的误差结果如果图 14 和表 1, 可以看出最大误差控制在 ± 0.1 °C 范围之内。

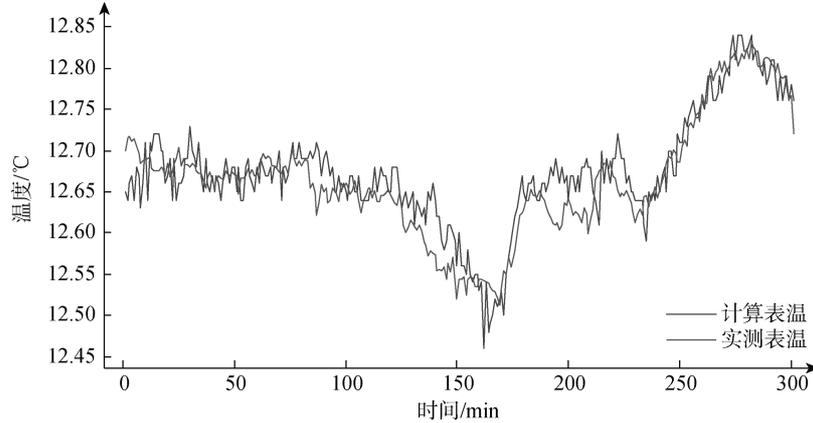


图 13 趸船实际应用结果和实测温度对比图

Fig. 13 Comparison of the application results and measured sea surface temperatures

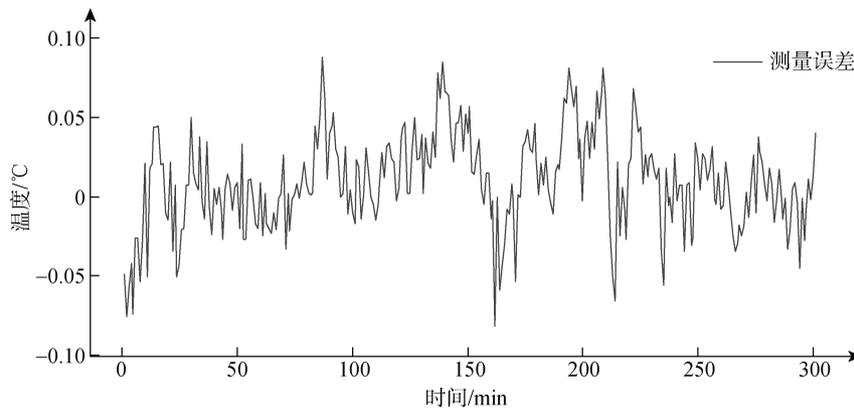


图 14 趸船实际应用结果误差图

Fig. 14 Error chart of the application results

表 1 实际应用温度数据对比表

Tab. 1 Comparison of the application results and measured sea surface temperatures

时间/h	计算表温/°C	实测表温/°C	误差/°C
0.0	12.65	12.7	-0.05
0.5	12.73	12.68	0.05
1.0	12.68	12.67	0.01
1.5	12.69	12.65	0.04
2.0	12.65	12.65	0.00
2.5	12.56	12.52	0.04
3.0	12.65	12.63	0.02
3.5	12.68	12.62	0.06
4.0	12.67	12.64	0.03
4.5	12.79	12.81	-0.02
5.0	12.78	12.77	0.01

5. 实验结论

温盐链测量结果和实测表温相吻合, 误差范围在 ± 0.1 °C 范围之内, 具有较高的准确性。

4 结论

本文提出了一种船载磁吸附温度链测量方式, 并设计制造了相关的模拟试验装置。同时提出了温度链数据采集过程的相关理论和数学模型, 通过模拟仿真和现场实验的验证, 证明了通过温度链的动态测量来推算实际表温值的方式是可行的。其中, 表温算法采用自适应参数化方式动态计算, 可以有效减小海流、风、热辐射等的干扰影响, 提高了表温计算的精确性。最终, 借助模拟实验装置, 采用本文表

温算法进行现场实验, 计算结果与实测表温相吻合, 误差范围在 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以内, 感温时间在 1 s 以内, 数据具有较高的可靠性、实时性和精确度, 验证了船载磁吸附温度链测量方式的可行性, 目前正在通过走航式海上试验验证有效性和可靠性。

参考文献:

- [1] 侍茂崇, 李培良. 海洋调查方法[M]. 北京: 海洋出版社, 2018: 64-65.
SHI Maochong, LI Peiliang. Methods of oceanographic survey[M]. Beijing: China Ocean Press, 2018: 64-65.
- [2] 黄立文, 文元桥. 航海气象与海洋学[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2014: 174-175.
HUANG Liwen, WEN Yuanqiao. Marine meteorology and oceanography[M]. Wuhan: Wuhan University of Technology Press, 2014: 174-175.
- [3] 李冰. 海水表面温度红外测量方法的研究[D]. 天津: 天津理工大学, 2010.
LI Bing. Research on infrared measure method of sea surface temperature[D]. Tianjin: Tianjin University of Technology, 2010.
- [4] 姜世中. 气象学与气候学[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 6-7.
JIANG Shizhong. Meteorology and climatology[M]. Beijing: Science Press, 2010: 6-7.
- [5] 朱本璐, 陈金瑞, 郑祥靖, 等. 福建沿海海水表层温度实测数据个例分析[J]. 海洋预报, 2019, 36(1): 69-75.
ZHU Benlu, CHEN Jinrui, ZHENG Xiangjing, et al. A case analysis of the observed sea surface temperature in Fujian coastal waters[J]. Marine Forecasts, 2019, 36(1): 69-75.
- [6] 蒋玉勇, 黄海冰. 航海气象观测与分析[M]. 武昌: 武汉大学出版社, 2015: 9-10.
JIANG Yuyong, HUANG Haibing. Marine meteorological observation and analysis[M]. Wuchang: Wuhan University Press, 2015: 9-10.
- [7] 闫涛, 曾继平, 吕富良, 等. 海洋观测规范第 2 部分: 海滨观测: GB/T 14914.2—2019[S]. 北京: 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会, 2019: 13-14.
YAN Tao, ZENG Jiping, LV Fuliang, et al. The specification for marine observation Part 2: Offshore observation: GB/T 14914.2—2019[S]. Beijing: State Administration for Market Regulation, Standardization Administration, 2019: 13-14.
- [8] 汤毓祥, 孙洪亮, 胡筱敏, 等. 海洋调查规范第 2 部分: 海洋水文观测: GB/T 12763.2-2007[S]. 北京: 中华人民共和国国际质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2007: 3-7.
TANG Yuxiang, SUN Hongliang, HU Xiaomin, et al. Specifications for oceanographic survey Part3: Marine meteorological observations: GB/T 12763.2-2007[S]. Beijing: General Administration of Supervision, inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration, 2007: 3-7.
- [9] 徐小弟, 董翔, 周罗明, 等. 船舶海洋水文气象辅助测报规范: GB/T 17838—2017[S]. 北京: 中华人民共和国国际质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2017: 12-13.
XU Xiaodi, DONG Xiang, ZHOU Luoming, et al. The specification for the ships' auxiliary marine hydrology and meteorological observations: GB/T 17838-2017[S]. Beijing: General Administration of Supervision, inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration, 2017: 12-13.
- [10] 侍茂崇, 李培良. 海洋调查方法[M]. 北京: 海洋出版社, 2018: 69-70.
SHI Maochong, LI Peiliang. Methods of oceanographic survey[M]. Beijing: China Ocean Press, 2018: 69-70.
- [11] 李冬, 张永合, 刘雷. 走航式多参数剖面测量系统 (MVP) 技术研究[J]. 数字技术与应用, 2017(7): 114-116.
LI Dong, ZHANG Yonghe, LIU Lei. Localization analysis of multi-parameter profile measuring system (MVP) for navigation[J]. Digital Technology & Application, 2017(7): 114-116.
- [12] 张强, 余晓明. 基于封装结构温度传感器响应时间的分析[J]. 大学物理实验, 2016, 29(2): 44-48.
ZHANG Qiang, YU Xiaoming. Analysis on response time of temperature sensor based on packaging structure[J]. Physical Experiment of College, 2016, 29(2): 44-48.
- [13] 周绍志, 崔文德. 铂电阻温度传感器封装结构影响响应时间的因素[J]. 导弹与航天运载技术, 2009(3): 29-31.
ZHOU Shaozhi, CUI Wende. Influences of the packaging structure of platinum resistance temperature sensor on response time[J]. Missile and Space Vehicle, 2009(3): 29-31.
- [14] 董庆瑞. 半导体热敏电阻温度曲线的 Matlab 曲线拟合[J]. 教育教学论坛, 2019(37): 66-68.
DONG Qingrui. Curve fitting of temperature curve of semiconductor thermistor based on Matlab[J]. Education and Teaching Forum, 2019(37): 66-68.
- [15] 郭金运, 徐晓飞, 沈毅. 整体最小二乘算法及测量应用研究综述[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2016, 35(4): 1-12.
GUO Jinyun, XU Xiaofei, SHEN Yi. Review on total least squares methods and applications in surveying[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2016, 35(4): 1-12.
- [16] 乔立山, 王玉兰, 曾锦光. 实验数据处理中曲线拟合方法探讨[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2004,

31(1): 91-95.

QIAO Lishan, WANG Yulan, ZENG Jinguang. Discussion on methods of curve fitting in experimental data

processing[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & technology Edition), 2004, 31(1): 91-95.

Observation of ship-borne sea surface temperature

ZHU Hong-hai^{1, 2, 3, 4}, QI Guo-liang^{1, 2, 3, 4}, LIU Mao-ke⁴, WANG Zhi^{1, 2, 3, 4},
YANG Jun-xian^{1, 2, 3, 4}, HE Ya-nan¹, LIU Shuai¹

(1. Institute of Oceanographic Instrumentation, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Qingdao 266061, China; 2. Shandong Provincial Key Laboratory of Ocean Environmental Monitoring Technology, Qingdao 266061, China; 3. National Engineering and Technological Research Center of Marine Monitoring Equipment, Qingdao 266061, China. 4. Shandong Jinghai Instrument Equipment Co. Ltd, Qingdao 266061, China)

Received: Nov. 5, 2020

Key words: sea water temperature; magnetic adsorption; temperature sensor chain; simulation; bus

Abstract: Based on the research of relevant national ocean observation standards for sea temperature observation and combined with the current status of ship-borne sea temperature observation, a methodology of ship-borne magnetic adsorption temperature chain based on bus design is proposed, and its structure design, theoretical model, algorithm, and other aspects are described. This method can effectively reduce the influence of wind and waves, ocean current, and thermal radiation through real-time observation of several vertical temperature sensors. It has the characteristics of relatively fixed depth of observation layer and high precision, and it can realize the automatic observation of the whole voyage on board. At the same time, the related simulation experimental device was designed and manufactured for a field experiment, which verified the feasibility and effectiveness of the ship-borne magnetic adsorption temperature chain observation method.

(本文编辑: 赵卫红)