

# 南海南部季风的自动气象站观测系统设计\*

李 超, 宁春林\*, 刘宝超, 苏清磊

(国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

**摘 要:**为了更好地认识季风对南海南部海洋环境变化和生态系统变化的影响,在马来西亚的 Bachok 海洋站设计、安装了一种轻便型、耐腐蚀的海岸带自动气象站系统。该系统自动采集气温、气压、风速和风向、相对湿度、降水、太阳短波辐射和长波辐射共 7 个气象要素,将数据存入 CF 卡并通过串口主动上传至上位机,通过服务程序实时显示气象数据并上传气象数据至云服务器供用户下载。本系统利用实验室校准和最小二乘法的修正来保证数据质量,近一年的连续测试表明该系统的性能稳定,在 2016-05 纳入到全球气象观测区域站中。

**关键词:**自动气象站;全球气象观察;校准;云服务器;最小二乘法

**中图分类号:** TP29

**文献标识码:** A

**doi:**10.3969/j.issn.1002-3682.2016.04.005

南海南部受到来自孟加拉湾和南半球跨赤道的两支季风气流影响,在整个亚洲季风区具有独特的变化规律,对局地海洋环境和生态系统有重要影响。目前,南海南部缺乏在季风爆发、季节内振荡和年际变化等重要过程中的观测资料,因此,增强南海南部的季风观测能力是十分必要的<sup>[1-2]</sup>。

马来西亚马来亚大学海洋与地球科学研究所的 Bachok 海洋站南眺卡里马塔海峡、北临泰国湾,东侧面向开阔的南海(图 1),是观测和研究南海南部大气环流、海洋环境和海洋生态的理想基地。通过与马来亚大学的合作,本文利用 Bachok 站现有的观测塔设计、安装了一套自动气象站观测系统,对主要气象参数(气温、气压、风速和风向、相对湿度、降水)、太阳辐射参数(向下长波辐射、向下短波辐射)进行观测。

该自动气象站系统包括气象传感器子系统、数据采集子系统、供电子系统、显示存储子系统与云服务子系统,自 2015-08-18 启用,截至目前已连续运行 1 a,系统稳定、数据质量可靠、数据实时获取率高达 99%,现已纳入到全球气象观察网络(Global Atmosphere Watch, GAW)区域站中,为南海南部季风的观测提供了强有力的技术支持。通过气象站长时间连续大气实测数据的获取与分析,掌握季风影响海洋环境和海洋生态系统的关键过程和作用机制,可以为建设海洋工程,合理地开发海洋资源、有效地修复和保护海洋生态系统提供科学依据。

\* 收稿日期:2016-10-17

资助项目:国家自然科学基金项目——基于海洋浮标的卫星导航通信新系统的关键技术研究(61271284)

作者简介:李 超(1991-),男,硕士研究生,主要从事海洋观测技术方面研究. E-mail:lichao@fio.org.cn

\* 通讯作者:宁春林(1977-),男,博士,高级工程师,主要从事深海浮标系统、卫星导航与通信方面研究.

E-mail:clning@fio.org.cn

(李 燕 编辑)

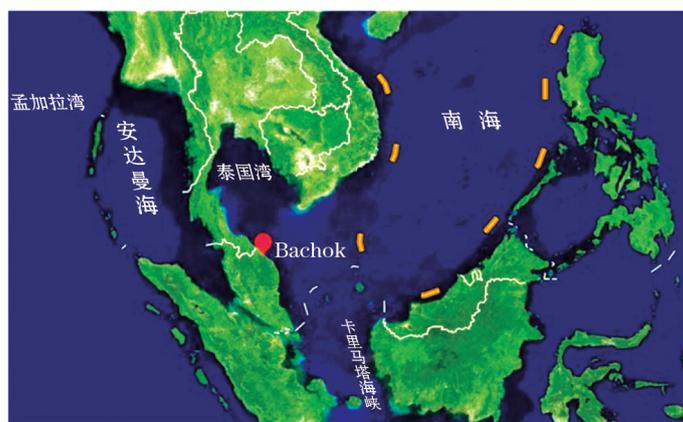


图 1 Bachok 海洋站位置图

Fig. 1 Location of the Bachok Ocean Station

## 1 系统设计

自动气象站系统方案如图 2 所示。风速风向传感器、相对湿度传感器、气温传感器、气压传感器、雨量传感器、太阳短波辐射传感器和长波辐射传感器输出都是模拟量,连接到数据采集器 DT80 的模拟量输入端口。外接 12 V 直流电源为整个气象站系统提供电力<sup>[3-5]</sup>。

自动气象站数据采集器每 1 min 采集各个气象要素值并将数据存储于 CF 卡中,同时将数据主动上传到上位机;在上位机上运行一个服务程序,该服务程序通过 RS232 串口与数据采集器通信,上位机接收气象站采集的气象要素后将数据显示在软件主界面上,并将接收的数据生成数据文件存储在硬盘;同时服务程序每 1 h 将数据通过 FTP 服务上传至云服务器端;用户可以通过账号密码登陆服务器下载所需要的观测数据。

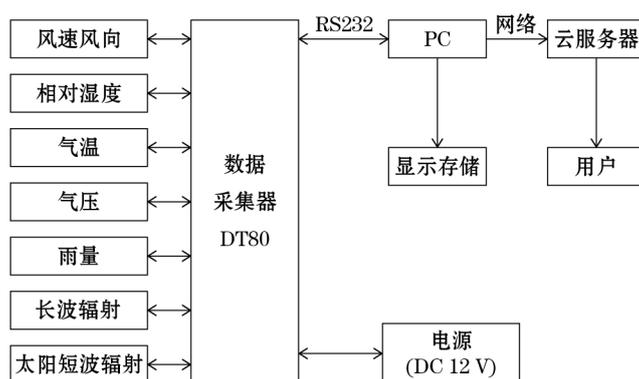


图 2 气象站系统结构图

Fig. 2 Structure of the weather station system

## 2 传感器校准

各气象传感器测量单元测得的参数与真实值总会存在一定的误差,为了保证传感器测量的准确度,需要对每一个气象传感器在使用前进行校准,对校准得到的数据采用最小二乘法修正,得到测量值与真实值的函数关系,进而对测得的数值进行修正后更准确地反映真实的环境参数<sup>[6-8]</sup>。项目组在天津的国家海洋标准计量中心对各传感器进行校准,表1列出了各气象传感器的主要技术指标。

表1 传感器主要技术指标

Table 1 Main specifications of the meteorological sensor

| 传感器  | 性能指标                                 |                              |
|------|--------------------------------------|------------------------------|
| 气温   | 精度:0.5%                              | 测量范围:-80~60℃                 |
| 气压   | 精度:±0.3 hPa(0~40℃)                   | 测量范围:800~1 100 hPa           |
| 降雨量  | 精度:±1 mm                             | 测量范围:0~50 mm                 |
| 相对湿度 | 精度:±1%RH(15~25℃)                     | 测量范围:0~100%RH                |
| 风速风向 | 风速精度:±2%(12 m/s)<br>风向精度:±3%(12 m/s) | 风速范围:0~60 m/s<br>风向范围:0~359° |
| 长波   | 灵敏度:4 μV/(W·m <sup>-2</sup> )        | 工作温度:-20~40℃                 |
| 太阳短波 | 灵敏度:9 μV/(W·m <sup>-2</sup> )        | 工作温度:-20~40℃                 |

雨量传感器、温度传感器、相对湿度传感器、气压传感器、风速传感器、太阳短波辐射传感器和长波辐射传感器的测量值都是呈线性变化的,通过最小二乘法得到的拟合曲线为一次方程  $y=ax+b$  或为二次方程  $y=ax^2+bx+c$ 。根据求得的拟合曲线实现数据采集器对传感器测量值的修正<sup>[9-10]</sup>。下面以雨量传感器的校准为例,表2为雨量传感器校准数据。

表2 雨量传感器校准数据

Table 2 Calibration data of the rainfall sensor

| 项目  | 雨量/mm |     |      |      |      |      |      |      |
|-----|-------|-----|------|------|------|------|------|------|
| 真实值 | 0     | 7.0 | 14.0 | 21.0 | 28.0 | 35.0 | 42.0 | 49.0 |
| 测量值 | 0.3   | 6.8 | 13.6 | 20.4 | 27.3 | 34.3 | 41.2 | 48.2 |

使用 Matlab 对雨量传感器的校准数据以最小二乘法进行曲线拟合,拟合曲线如图3所示。蓝线为一次拟合曲线,红线为二次拟合曲线。一次拟合曲线的系数为: $a=0.9912$ ;  $b=-0.1207$ ;二次拟合曲线的系数为: $a=0.0015$ ;  $b=0.9187$ ;  $c=0.3871$ 。经以上分析可以发现此雨量传感器的一次拟合曲线和二次拟合曲线非常接近,这里采用一次拟合曲线  $y=0.9912x-0.1207$  修正雨量传感器的测量值<sup>[11-12]</sup>。

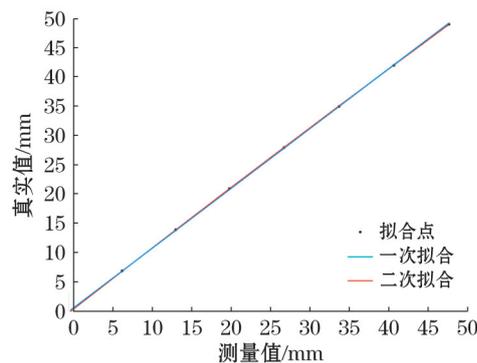


图3 雨量传感器校准拟合曲线图

Fig. 3 Fitting curve of the rainfall sensor calibration

### 3 软件设计

#### 3.1 传感器数据处理算法

自动气象站系统中所使用的传感器都是输出模拟量,输出模拟量的类型分为电压值和电阻值两类,需要数据采集器对采集到的模拟量进行线性化和定量化处理,将模拟量转化为相应的物理工程量<sup>[13]</sup>。系统采用的各个传感器的输出模拟量转化为气象要素值的处理算法如表 3 所示。

表 3 各传感器处理算法

Table 3 Data processing algorithm for all sensors

| 传感器名称   | 处理算法   |
|---------|--|
| 气温传感器   | DT80 系统内部自带 PT100 电阻-温度转换函数。   |
| 相对湿度传感器 | 传感器输出 0~1 V 的电压值,线性对应 0~100% 的相对湿度值。   |
| 气压传感器   | 传感器输出 0~5 V 的电压值,线性对应 800~1 100 hPa 的气压值。  |
| 雨量传感器   | 传感器输出 0~5 V 的电压值,线性对应 0~50 mm 降水量。   |
| 风速风向传感器 | 传感器输出风速 0~5 V 电压值,线性对应 0~60 m/s 的风速值<br>传感器输出风向 0~5 V 电压值,线性对应 0°~359° 的风向值。   |
| 太阳短波辐射  | 短波值 $R_{in}$ 与电压值 $V_{ab}$ 间转换关系式: $R_{in} = V_{ab}/S$ ( $V_{ab}$ 为测得的短波传感器的电压值)。  |
| 长波辐射    | 长波传感器测得的原始数据为电压值 $V_{ab}$ 及 2 个热敏电阻值 $R_c$ 、 $R_d$ 。电阻值与温度关系为: $T = 1/(C_1 + C_2 \ln R + C_3 \ln R)^3$ 。式中, $R$ 分别用 $R_c$ 、 $R_d$ 代入得壳体温度值 $T_c$ 和球体温度值 $T_d$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 为常数。长波值 $R_{in}$ 与温度的关系式: $R_{in} = V_{ac}/S + \sigma T_c^4 - k\sigma(T_d^4 + T_c^4)$ 。式中, $S$ 为仪器灵敏度; $\sigma = 5.6704 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ ; $k$ 为常量。 |

#### 3.2 软件流程

数据采集器的工作流程如图 4 所示。数据采集器每 1 min 采集一次各传感器的输出值,在数据采集器内根据表 3 所示的处理算法将采集的各模拟量分别转化为相应的气象要素值,然后将各气象要素值代入校准得到的拟合函数进行修正得到修正值,再对修正值进行异常判断,剔除异常值,保留正常值,最后将处理好的数据保存至 CF 卡并上传至上位机。

### 4 气象站结构设计

气象站整体设计结构简单,各部件之间的连接固定均使用 U 型螺栓,方便安装拆卸,方便运输(图 5)。圆形的安装底座通过膨胀螺栓固定在混凝土或石基地面上,风速杆插在底座上并用定位螺丝固定,防风拉环

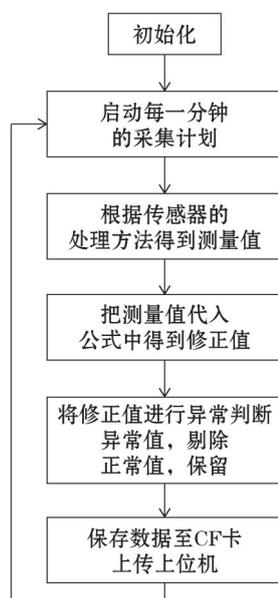


图 4 数据采集器主流程图

Fig. 4 The main flow chart of the data logger

上系防风索来加强防风能力,此为气象站的主支撑部分。数据采集器控制箱基座、气压盒基座、防辐射罩、雨量计支架、长短波支架和风速风向传感器支架均通过 U 型螺栓固定在风速杆上。气象站所有支架和连接件均采用不锈钢材质,具有较好的耐腐蚀性,能够保障气象站在海岸带强腐蚀环境下的可靠性。该结构设计已授权实用新型专利,专利号: ZL 2015 2 0809247.8<sup>[14]</sup>。

由于 WindSonic 的二维超声波风速风向传感器只能测量相对的风速风向,在移动的观测平台上使用时一般都是利用 GPS 与电子罗盘对测得的风速风向进行修正从而得到真实的风速及风向。对于陆地气象站,为了降低成本和简便,在安装时利用指南针,使传感器的北向与地磁北向一致,此时得到的风速风向值即为真实的风速和风向。在实际安装过程中,考虑到风速杆位置对长短波辐射传感器的影响及自动气象站安装在北半球,需把长短波辐射传感器安装在整个系统的南向。

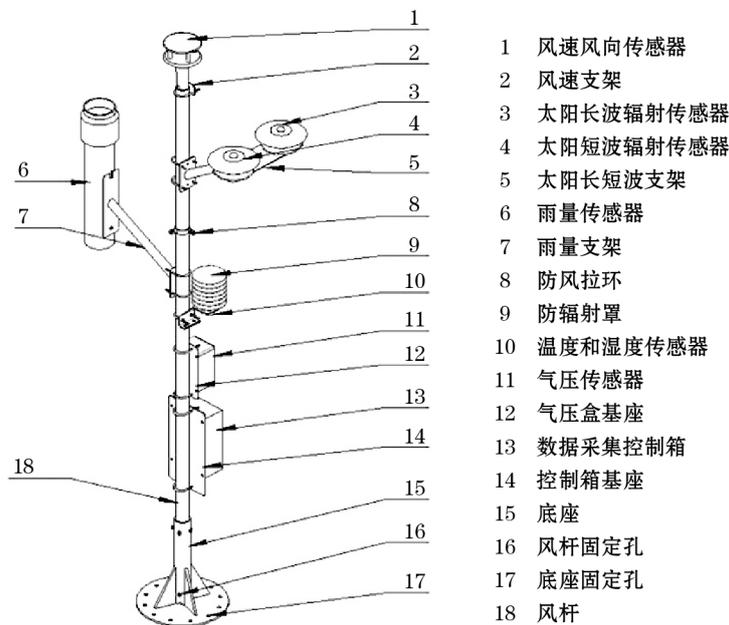


图5 气象站结构图

Fig. 5 Structure of the weather station

## 5 测试分析及结论

自动气象站是“季风对南海南部海洋环境及生态系统影响”项目的重要组成部分,自 2015-08 安装在马来西亚马来亚大学海洋与地球科学研究所的 Bachok 海洋站至今一直运行良好,获取了大量有价值的气象数据。

### 5.1 2016-01 寒潮数据分析

为了检验气象站系统的性能以及观测数据的可靠性,对 2016-01 中下旬的观测数据进行分析。

2016 年 1 月下旬,东亚地区遭受强寒潮天气影响。此次寒潮强度非常大,其影响范围直达南海南部地区。图 6 为根据自动气象站采集的气象要素值绘制的 2016-01-15—31 的气温、气压、太阳短波辐射、长波辐射、降水量和风矢量变化曲线。寒潮在 01-25 左右开始影响马来半岛。由气温曲线可见,从 01-25—29,观测站气温出现明显波动,日最高气温较寒潮到达之前下降  $1\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,日变化幅度显著减小;受寒潮过境影响,干冷的东北风显著增强,最大风力超过 8 级;受冷暖空气对流影响,气象站在 01-27 也观测到一次弱的降水过程;气象站同时观测到了寒潮过境期间气压由低到高再降低的过程。以上观测结果细致地反映了此次强寒潮天气过程中各气象要素的时间高频变化,对于研究寒潮的演变过程及其对马来半岛的影响,提供了宝贵的一手资料。

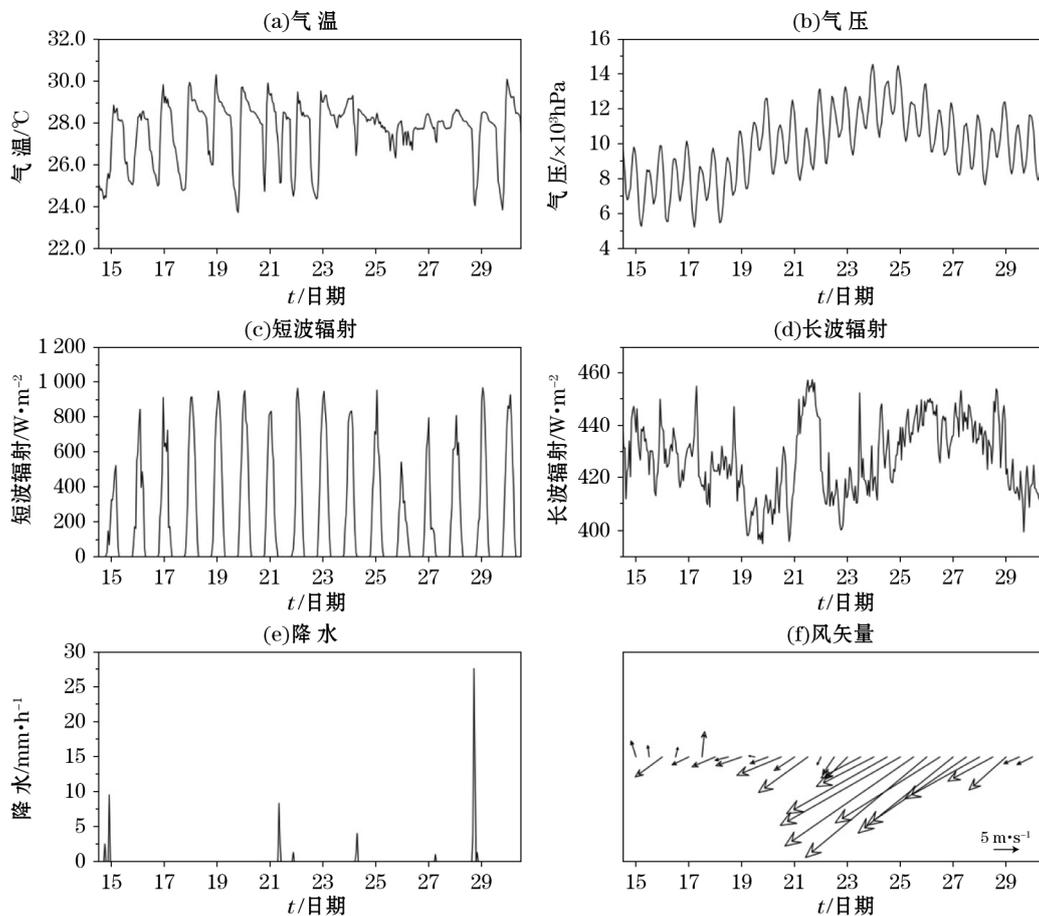


图 6 2016-01 寒潮期间观测数据曲线(小时平均)

Fig. 6 The curve of the data observed during the cold wave in January 2016 (hourly average)

## 5.2 季节变化分析

图 7 为 2015-08—2016-08 接近 1 a 的观测数据绘制的参数曲线。图中黑色曲线为观测数据日平均曲线,蓝色曲线为 10 d 滑动平均结果。温度曲线在 2015-09—12 之间较长的中断是由于温度传感器损坏所致,后对传感器进行了更换。曲线中的少量断点是由于

气象观测站停电所致。观测数据清晰地反映出了马来半岛东岸气候的季节循环。我们知道,亚洲季风区的一个显著特点是降水往往伴随着强劲的夏季风(JJA)。但从观测站数据发现,Bachok 站所处的马来半岛东岸的最大降水却发生在 11 月和 12 月,属于冬季季风期间。春季(3—5 月)为马来半岛东岸地区的干季,降水最少,日照最长,气温最高。5 月中下旬,随着亚洲夏季风在孟加拉湾地区的爆发,马来半岛东岸的降水也迅速增加,日照和气温下降。另外,冬季亚洲冷高压造成的东北季风可以贯穿整个南海,到达马来半岛东岸,给 Bachok 站带来强风天气<sup>[15-19]</sup>。而夏季季风期间 Bachok 站基本处于无风状态,具体是什么原因造成这一现象,值得我们进一步深入分析。综上所述,Bachok 自动气象站的观测结果与现有数据集相比具有时间分辨率高、区域针对性强的优势,为我们揭示了位于南亚季风、东亚季风的交汇处的马来半岛东岸独特的季风气候特征,为该区域气象和海洋学研究提供了大量宝贵的资料。

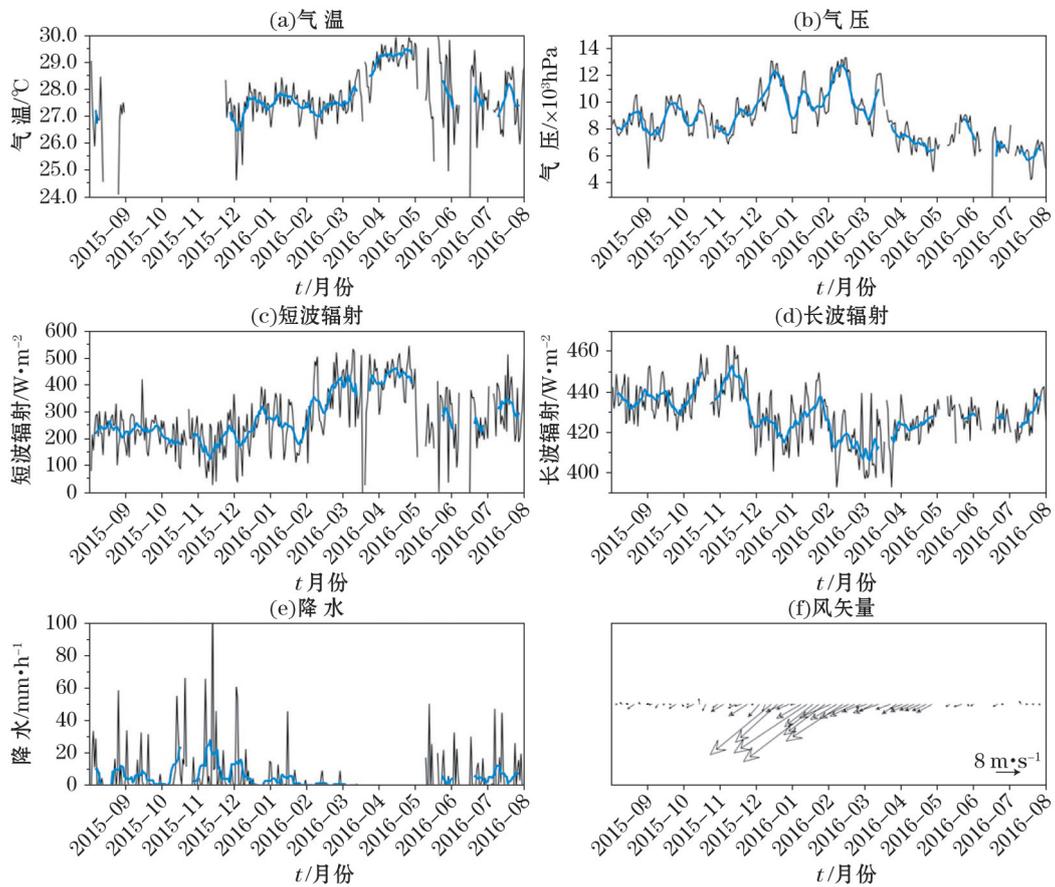


图7 全年观测数据曲线(日平均)

Fig. 7 The curve of the data observed in a year(daily average)

## 6 结 语

本文对自动气象站的整体设计与功能实现做了全面的介绍,经过对各气象传感器的选型和校准,以及在数据采集器中对于所测参数的算法修正,保证了自动气象站各传感器采集数据的准确度。气象站结构的设计充分考虑了安装和携带的简易性,各个传感器的安装位置充分考虑了各气象要素观测的特点,使互不干扰,观测数据真实地反映实际环境。气象站系统利用云服务器,实时上传观测数据,使科研人员及时掌握气象要素的变化,研究季风的发展。从自动气象站连续稳定工作 1 a,获取大量有价值的的数据,以及对于获取的近 1 a 的各气象要素的分析可知,该气象站系统性能稳定,数据精度高,在南海南部获取了长时间连续的大气观测资料,有助于研究亚洲季风在南海南部海洋环境变化和生态演变中的作用机制,以及评估未来气候变化对海洋环境和生态系统的潜在影响,从而为海洋工程建设、海洋资源开发、海洋环境保护提供科学依据。长时间高质量的数据同时对研究南海的海气通量提供有力的支持,有助于更清楚的了解海气相互作用的具体过程,可以在数值模拟提供更为精确的初、边界条件,这对于实际工程中的气候预报和飓风、台风的路径预报等方面都是非常重要的。

### 参考文献:

- [1] YU W D, SHI J W, LIU L, et al. The onset of the monsoon over the Bay of Bengal: The observed common features for 2008—2011[J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2012, 5(4): 314-318.
- [2] YU W D, LI K P, SHI J W, et al. The onset of the monsoon over the Bay of Bengal: The year-to-year variations[J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2012, 5(4): 342-347.
- [3] 孟昭辉, 李庆军. 自动气象站综述[J]. 气象水文海洋仪器, 2009(4): 54-56, 59.
- [4] 陈冬冬, 杨志彪, 施丽娟, 等. 新型自动气象站结构特点及其优越性[J]. 气象水文海洋仪器, 2011(4): 93-99.
- [5] 韩宇龙, 韦庆玲, 蒋洪涛, 等. 自动气象站多要素测试仪的研发[J]. 气象研究与应用, 2015, 36(增 1): 150-151.
- [6] 周钦强, 李源鸿, 雷卫延. 自动气象站自适应数据处理方法的研究[J]. 气象水文海洋仪器, 2011(1): 11-15, 19.
- [7] 朱乐坤, 郑丽春. 自动气象站各要素传感器检定结果的不确定度分析[J]. 应用气象学报, 2006(5): 635-642.
- [8] 都强, 杭柏林. 最小二乘法在多传感器测量标定中的应用[J]. 传感技术学报, 2005(2): 244-246.
- [9] 田垅, 刘宗田. 最小二乘法分段直线拟合[J]. 计算机科学, 2012, 36(6A): 482-484.
- [10] 解同信. 最小二乘法求作拟合直线[J]. 北京工业职业技术学院学报, 2006(3): 5-7.
- [11] 徐亦唐. 基于最小二乘法的曲线拟合及其在 Matlab 中的应用[J]. 电子世界, 2013(10): 102-103.
- [12] 刘志平, 石林英. 最小二乘法原理及其 MATLAB 实现[J]. 中国西部科技, 2008(17): 33-34.
- [13] 孙辰, 陈志平, 宁春林, 等. 印度洋季风观测船载气象站控制系统设计[J]. 电子机械工程, 2014(1): 14-18.
- [14] 苏清磊, 李超, 李劳钰, 等. 一种轻便型、耐腐蚀式海岸带陆地自动气象站: 中国, ZL 2015 2 0809247. 8[P]. 2016-02-10[2016-10-17].

- [15] 吕俊梅,张庆云,陶诗言,等. 亚洲夏季风的爆发及推进特征[J]. 科学通报,2006(3):332-338.
- [16] 邵颢,黄平,黄荣辉. 南海夏季风爆发的研究进展[J]. 地球科学进展,2014(10):1126-1137.
- [17] 蒋国荣,沙文钰,李训强,等. 南海季风爆发前后辐射特征分析[J]. 热带气象学报,2002(1):29-37.
- [18] 李香淑,郭学良,付丹红. 南海季风爆发期间大气环流结构与对流热量、水汽输送特征[J]. 气候与环境研究,2008(1):93-101.
- [19] 朱伟军,孙照渤,齐卫宁. 南海季风爆发及其环流特征[J]. 南京气象学院学报,1997(4):24-30.

## Design of Automatic Weather Station Observation System for Monsoon in the Southern South China Sea

LI Chao, NING Chun-lin, LIU Bao-chao, SU Qing-lei

(The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China)

**Abstract:** In order to understand better the effects of the monsoon on the marine environment and ecosystem changes in the Southern South China Sea, a lightweight and corrosion-resistant coastal automatic weather station system was designed and built at the Bachok Ocean Station in Malaysia. This system can automatically collect seven key meteorological parameters such as air temperature, air pressure, wind speed and direction, relative humidity, rainfall and solar short- and long- wave radiations. All these data can be stored in the CF card and actively uploaded to the host computer through the serial port, and then through a service program the host computer can display in real-time the meteorological parameters and upload the data to the cloud server for users to download. The system uses laboratory calibration and least-squares refinement to ensure the data quality. It has been shown from almost a year of continuous testing that the performance of the system is stable. In May 2016, this system was incorporated into the regional station for global meteorological observation.

**Key words:** automatic weather station; global meteorological observation; calibration; cloud server; least square method