

曹晓钟,李肖霞,雷勇,等,2019. 国产海洋气象漂流观测仪在台风观测中的应用分析[J]. 气象,45(10):1457-1463. Cao X Z, Li X X, Lei Y, et al, 2019. Typhoon observation and analysis of domestic marine meteorological drift buoy experiment[J]. Meteor Mon, 45(10):1457-1463(in Chinese).

国产海洋气象漂流观测仪在台风观测中的应用分析*

曹晓钟¹ 李肖霞¹ 雷 勇¹ 温华洋² 王 榭^{1,3}

1 中国气象局气象探测中心,北京 100081

2 安徽省气象信息中心,合肥 230031

3 成都信息工程大学,成都 610225

提 要: 介绍了由我国自主研发的、基于北斗导航通信卫星的、集海洋水文要素和气象要素一体观测的、在恶劣海况条件下能进行连续、可靠观测的海洋气象漂流观测仪,及其在多个海域开展实际的外海观测试验情况。2017 年 8 月 20 日至 9 月 5 日,三台漂流观测仪在广东博贺海洋气象综合试验基地,经历了 2017 年第 13 号台风天鸽和第 14 号台风帕卡两次台风天气过程。对试验期间获取的台风天气过程中气温、气压、海温等观测数据的分析表明,漂流观测仪所获得的观测数据与相关国家级业务观测站点的观测数据具有较好的相关性,揭示了台风天气过程的明显特征,并表现出合理、清晰的日变化特征。上述试验表明,国产海洋气象漂流观测仪已具备在恶劣海况下进行实际观测的能力。

关键词: 漂流观测仪,海洋气象,浮标,台风观测

中图分类号: P412, P415

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2019.10.012

Typhoon Observation and Analysis of Domestic Marine Meteorological Drift Buoy Experiment

CAO Xiaozhong¹ LI Xiaoxia¹ LEI Yong¹ WEN Huayang² WANG Xie^{1,3}

1 Meteorological Observation Centre of CMA, Beijing 100081

2 Anhui Meteorological Information Center, Hefei 230031

3 Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225

Abstract: This study introduces the domestic marine meteorological drifting observer which can continuously, reliably and accurately observe the severe sea conditions based on Beidou navigation communication. It was independently developed by China and integrated with marine hydrological element (sea surface temperature, seawater salinity) and meteorological elements (air temperature, pressure, wind speed and direction). Up to now the observation test has been carried out in a number of sea areas. From 20 August to 5 September 2017, three drifting observers were placed in Guangdong Bohe Test Base for observing test, one on the shore, and the other two in the offshore seas. During the trial, the Typhoon Hato and the Typhoon Pakhar hit the area. The data analysis shows that the drifting observer data have a good correlation with the data from the national operation observation stations. The drifting observer obtained the observation data of air temperature, pressure and sea temperature in the period of typhoon weather, which had obvious characteristics of typhoon weather process, and showed a reasonable and apparent diurnal variation characteristic. The tests have shown that the marine meteorological drift observation instrument has

* 国家重大科学仪器设备开发专项(2014YQ110787)和中国气象局气象探测中心自设项目(TCZS201703)共同资助

2018 年 3 月 26 日收稿; 2019 年 5 月 10 日收修定稿

第一作者:曹晓钟,主要从事地面观测自动化/海洋仪器开发等研究工作. Email: caoxzh@126.com

the ability to perform actual observations under severe sea conditions.

Key words: drifting observer, marine meteorology, buoy, typhoon observation

引言

1982 年世界气候研究计划提出,浮标观测对海洋和气候研究的价值不可估量,但是海洋的不确定性使得浮标的设计十分困难,当时浮标成本高、重量大,设计出一种符合标准的、低成本、重量轻,易于使用的表层漂流浮标迫在眉睫。这种浮标直到开展热带海洋全球气候试验和世界海洋环流试验,也就是现在的全球浮标计划的“表层速度计划”时,才真正开始制成并投放。其最初是来自美国海军研究实验室,随后向美国海洋大气局和国际科学研究基地提供。1988 年第一个漂流浮标投放应用,1991 年这些漂流浮标得到标准化,由球形外壳与水帆组成,水帆沉入海表面 15 m 深左右,解决了由于浮标的不确定性以及由于其设计不同而导致的水流特性不同的问题,受海况影响较小。由于世界大洋环流计划及大洋气候计划变动,1992 年漂流浮标投放在太平洋,1994 年投放在印度洋,2004 年跨越了热带和南大西洋。目前,漂流浮标已经成为全球浮标计划、全球海洋观测系统和全球气候观测系统的重要组成部分(Lumpkin and Pazos, 2007; Lie et al, 1998)。

我国许多学者开展了海洋漂流浮标仪器的应用研究和试验工作(余立中, 1999; 孙仲汉, 2000),也有学者和单位研制了针对海洋要素观测的此类仪器(余立中, 1995; 马庆峰, 2009; 李文彬等, 2011; 洪常委, 2014),同时也有研究对漂流浮标观测数据开展了分析工作(胡筱敏等, 2008; 李明等, 2010)。2014 年,由中国气象局和国家海洋局等单位联合研制的海洋气象漂流观测仪,取得了一系列的成果(孔卫奇等, 2017; 祁安俊等, 2017)。其基于北斗导航通信卫星,观测要素包括海洋要素和气象要素,并通过多项测试,在不同海域开展多次试验,获取了大量外海试验数据。尤其是在外海试验期间,经历了多次较强的台风天气过程,在外海恶劣环境下,实现了连续、可靠、准确的观测。

1 海洋气象漂流观测仪

海洋气象漂流观测仪总体设计由浮标结构系统

和数据采集处理系统两大部分组成,系统组成设计示意图如图 1 所示。

其中,数据采集系统为电气系统,承担数据采集、运行控制、电源管理数据通讯等功能,浮标结构系统为机械构造系统,为设备提供安装平台和浮标漂流的推动力。

浮标结构系统主要包括水面浮标、水帆、系统三个主要组成部分。水面浮标作为观测仪器、通讯设备、电源系统的搭载安装平台,在 40 cm 浮标球体内或上部,安装各种设备部件;水帆的作用是稳定浮标,受海流推动作用漂移,带动整个观测仪随流漂移,系统用于连接水面浮标和水帆。

数据采集系统主要包括:主控制系统、数字传感器系统、状态检测系统、姿态监测系统、数据通信系统和电源系统等六个主要组成部分。主控制系统为系统运行控制核心系统,主要承担系统运行的时序控制和数据处理功能;数字传感器系统主要完成对各观测要素的数据采集、计算处理,生成瞬时观测数据及导出计算数据等;状态检测系统为浮标自身工作运行状态的检测系统,主要承担对电源系统、微处理器的运行状态及浮标自身状态的实时检测;姿态

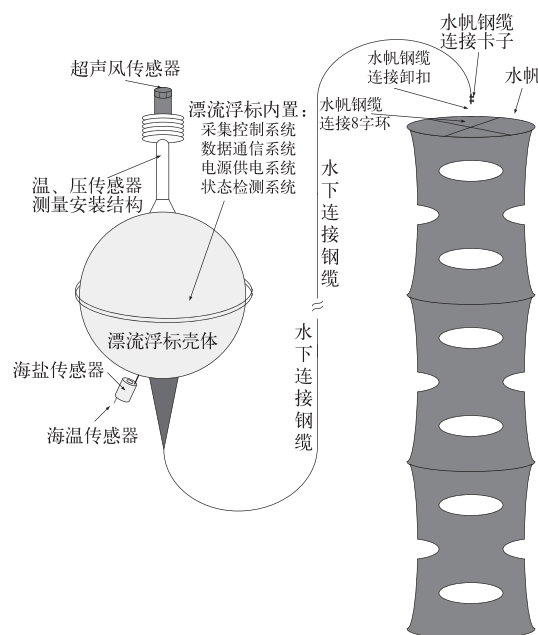


图 1 海洋气象漂流观测仪组成示意图

Fig. 1 Schematic diagram of drifting buoy afloat experiment

监测系统实时监测浮标运行的地理方位坐标信息以及浮标姿态信息;数据通信系统按照规定时序间隔发送观测数据及地理坐标信息等有效数据;电源系统为整个海洋气象漂流观测仪提供电源供应及节能、电源安全管理。

该仪器主要的测量技术指标见表 1。

表 1 仪器技术指标

Table 1 Instrument technical indicators

观测要素	测量范围	测量精度
气压/hPa	900~1350	±1
气温/℃	-15~65	±0.5
海面风速/ $m \cdot s^{-1}$	0~60	±1 或 10%
海面风向/°	0~360	±15
海表层水温/℃	-2~40	±0.1
海水盐度/电导率/ $mS \cdot cm^{-1}$	0~65	±0.05

2 试验介绍

为了测试和完善仪器的功能和性能,自 2016 年 5 月以来,在近海和远海开展了大量的外海观测试验,包括在威海国家浅海综合试验场开展近海性能测试试验、搭乘“张骞号”首航在南海海域开展实际的外海漂流观测试验、在广东博贺海洋气象综合试验基地开展比对试验、搭乘“科学号”在西太平洋开展远海的实际漂流观测试验等。海洋气象漂流观测仪在海上漂流观测的实际状况如图 2 所示。

海上试验的设备在试验前需先对设备进行检测和标定,以确保设备的准确性和精度符合要求。海洋气象漂流观测仪在生产、标定后,在中国气象局大气试验基地进行了各项指标的静态测试,测试结果表明各项性能均达到了要求,在此不再赘述。

本次台风试验数据是选取三台投放到广东茂名

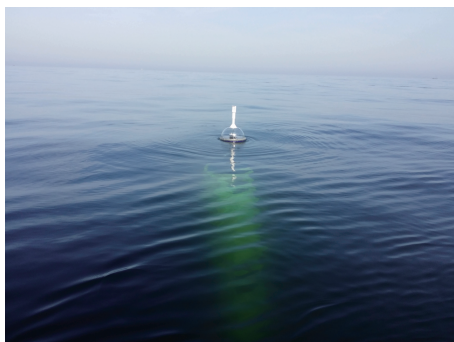


图 2 海洋气象漂流观测仪海上试验
Fig. 2 Drifting buoy afloat experiment

博贺试验基地(陈蓉等, 2011)的海洋气象漂流观测仪,试验数据的时间为 2017 年 8 月 20 日至 9 月 5 日,仪器编号分别为 S1031、S1034、S1042。在博贺试验基地附近,分布着几个国家级气象业务观测的站点,包括电白基准站、茂名一般站、海上锚碇浮标站。为了便于与在试验基地的国家级业务台站和海上试验平台架设的固定自动气象站进行比对,因此本次试验中将 S1031、S1034 固定于海上试验平台附近(图 3),S1042 观测安装在博贺试验基地地面观测场附近,由于开展试验时,设备风的观测尚未成熟,因此这几台仪器均没有安装风传感器。本研究中应用了业务台站的观测数据与漂流观测仪所获得的试验数据,在台风天气过程中进行比对分析。

3 数据分析

3.1 台风天气过程分析

2017 年 8 月,西北太平洋及南海共有 5 个台风生成(图 4),其中“天鸽”“帕卡”在我国登陆。第 13 号台风天鸽为 2017 年度登陆我国的最强台风(8 月 23 日 12:50 左右在广东珠海南部沿海登陆),登陆时中心附近最大风力 14 级,中心最低气压 950 hPa。“天鸽”登陆前后,广东珠三角及沿海地区出现了 11~14 级大风,珠海、澳门、香港、珠江口阵风 16~17 级,局地超过 17 级。“天鸽”登陆期间恰逢天文大潮,强风带来的巨浪和天文大潮叠加造成珠江口沿岸出现风暴增水,多个站点超历史实测最高潮位。第 14 号台风帕卡于 8 月 27 日 09 时左右在广东省台山市东南部沿海登陆,登陆时中心附近最大风力 12 级,中心最低气压为 978 hPa(谢超和马学款, 2017)。“天鸽”正面袭击珠江口,“帕卡”随后登陆

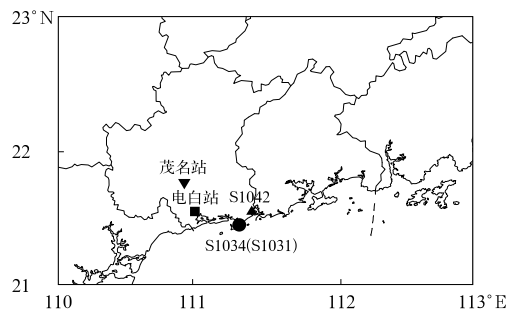


图 3 海洋气象漂流观测仪试验站点分布图
Fig. 3 Distribution of drifting buoy site

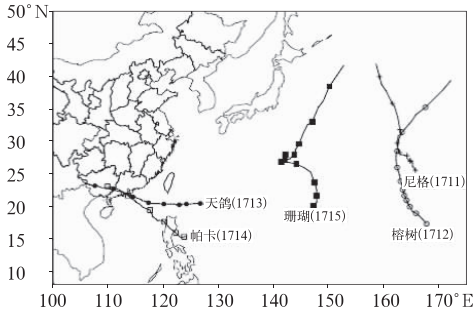


图 4 2017 年 8 月西北太平洋及南海热带气旋路径

Fig. 4 Tracks of tropical cyclones over the northwestern Pacific and the South China Sea in August 2017

珠三角地区,均造成一定人员伤亡和经济损失,但台风带来的降水缓解了广东气象干旱和南方地区的高温天气(国家气候中心,2017)。

这两个台风天气过程期间,三台漂流观测仪 S1031、S1034、S1042 正布放在博贺试验基地及附近海域开展观测试验,获取了台风天气过程的实测数据。

3.2 不同观测要素数据分析

3.2.1 气压

本研究选取了 2017 年 8 月 20 日至 9 月 5 日台风天气过程期间,电白国家基准气候站(以下简称电白站)、茂名国家一般气象站(以下简称茂名站)、锚碇浮标站观测的逐小时海平面气压等观测数据,与 S1034、S1042 漂流观测仪气压数据进行对比分析。

(1) 气压变化趋势及相关性分析

从图 5 各站的气压观测数据分析,漂流观测仪 S1034、S1042 和电白站、茂名站、锚碇浮标站观测的气压值,变化趋势具有很好的一致性,并具有较高相关性(表 2),各站相关系数均超过 0.95。

两次台风天气过程发生之前,各站气压明显降低。“天鸽”登陆之前,从 8 月 20 日开始,气压在遵

表 2 不同站点气压数据相关性统计

Table 2 Relevant statistics of barometric data at different sites

相关系数	S1034	电白	茂名	浮标
S1042	0.999	0.970	0.966	0.986
电白	0.976	1.000		
茂名	0.972	0.998	1.000	
浮标	0.990	0.965	0.959	1.000

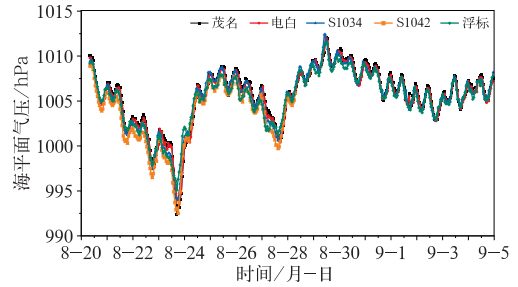


图 5 2017 年 8 月 20 日至 9 月 5 日博贺海上试验海平面气压数据对比

Fig. 5 Sea surface pressure comparison test data from 20 August to 5 September 2017

循日变化规律的同时,整体具有明显的降低趋势;同样,“帕卡”登陆前,从 8 月 26 日起,气压也表现出同样规律。但由于“天鸽”强度高于“帕卡”,因此在数据上也反映出“天鸽”期间气压达到最低值,“帕卡”期间气压为次低值。

图 6 和图 7 分别描述了两次台风天气过程中各仪器气压的变化情况,“天鸽”登录前,地面的茂名站和电白站海平面气压高于漂流观测仪和锚碇浮标站的观测值,由于不同观测站点与台风距离不同,漂流观测仪观测的气压在约 23 日 11 时开始下降,比地面站的气压值下降早半小时,12:50 台风开始登陆,地面站的气压数据迅速下降,锚碇浮标站约 17 时达到最低值,其他站约 18 时达到最低值,台风深入内陆,气压开始回升。整个台风天气过程中设备观测结果的一致性和差异性较好,即变化规律较为一致,变化的时间则因为台风的远近表现为略早或略延迟。同样对于台风帕卡而言,其强度小于“天鸽”,但对比两张图发现其变化规律基本一致,同时

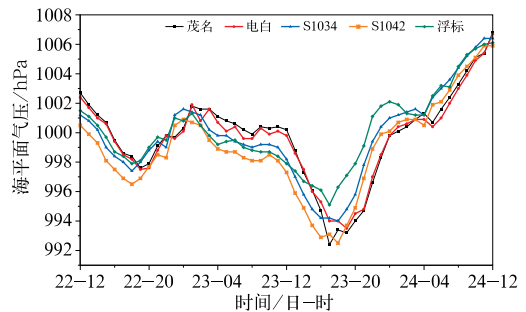


图 6 2017 年 8 月 22—24 日博贺海上试验台风天鸽气压数据对比

Fig. 6 Sea surface pressure comparison test data during severe Typhoon Hato from 22 to 24 August 2017

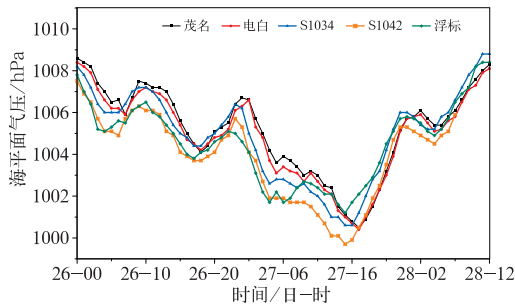


图 7 2017 年 8 月 26—28 日博贺海上试验台风帕卡期间气压数据对比

Fig. 7 Sea surface pressure comparison test data during Typhoon Pakhar from 26 to 28 August 2017

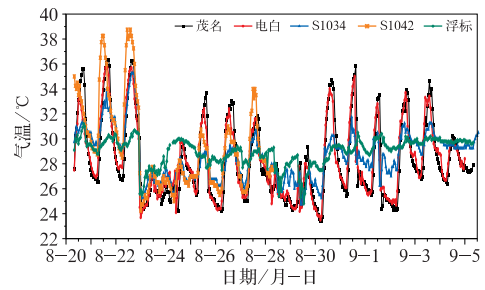


图 9 同图 5, 但为气温数据

Fig. 9 Same as Fig. 5, but for air temperature

地面站变化迟于锚碇浮标站和漂流观测仪数据。

(2) 气压日变化特征分析

图 8 给出了漂流观测仪气压观测值变化情况, 低值区出现在 16—17 时, 次低值区在 05—06 时, 高值区出现在 22 时前后, 次高值区出现在 10 时前后, 具有明显的日变化规律, 表明了漂流观测仪观测数据的合理性。

从上述分析可知, 漂流观测仪观测的气压观测值能够客观地反映大气压力的变化情况, 具有合理、明显的日变化特征, 特别是对于台风等天气过程的监测具有重要意义。

3.2.2 气温

参考气压对比分析站点, 选取 S1034、S1042 漂流观测仪气温观测数据与电白站、茂名站和锚碇浮标站的气温观测数据进行对比分析。

(1) 气温变化趋势及相关性分析。从图 9 整体

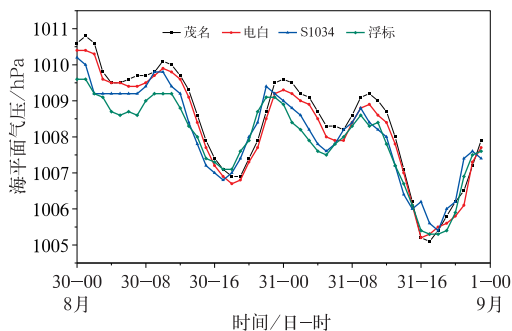


图 8 2017 年 8 月 30 日至 9 月 1 日博贺海上试验气压日变化

Fig. 8 Daily change of sea surface pressure comparison test data from 30 August to 1 September 2017

来看, S1034、S1042 与茂名站和电白站的气温变化趋势基本一致, 但 S1034 变化幅度明显较小, 锚碇浮标站变化幅度更小, S1042 处于港口附近岸边, 反映出地面观测站的变化规律。S1034 漂流观测仪放置于海上, 距离海岸线相对锚碇浮标较近, 因此其气温变化幅度低于电白站及茂名站, 高于锚碇浮标站。

表 3 给出了各组数据之间的相关系数, 与变化曲线结果一致, S1034 和 S1042 有较高的一致性, 与茂名站和电白站相关系数也超过 0.8, 但与锚碇浮标站的相关系数则在 0.6 左右。由于没有得到浮标站气温传感器的计量检定值, 因此对造成两者之间差异的原因难以分析。

表 3 不同站点气温数据相关性统计

Table 3 Relevant statistics of air temperature data at different sites

相关系数	S1034	电白	茂名	浮标
S1042	0.928	0.898	0.832	0.578
电白	0.829	1.000		
茂名	0.787	0.920	1.000	
浮标	0.684	0.516	0.477	1.000

图 10 和图 11 则分别给出了两次台风期间气温的变化情况, “天鸽”期间各站观测的气温基本同时在 8 月 22 日 22 时左右开始迅速下降, 00 时达到最低值, 其后开始缓慢回升, 地面及近海受台风影响, 开始持续降水, 气温回升缓慢, 锚碇浮标回升略快。台风帕卡相对较弱, 对气温的影响不大, 基本在 8 月 27 日 06 时前后达到最低值并缓慢回升, 均在 14 时前后达到最高值。

(2) 气温日变化特征分析。图 9 可见, 漂流观测仪日变化特征较明显, 与地面观测站点基本一致, 并反映出海上气温变化的变化特征。由于台风帕卡期间对气温的影响不大, 06 时前后达到最低值并缓慢回升, 均在 14 时前后达到最高值, 和正常的气温

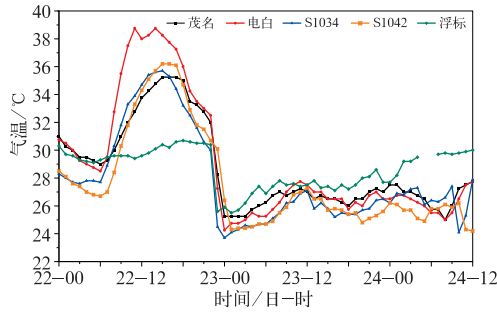


图 10 同图 6, 但为气温

Fig. 10 Same as Fig. 6, but for air temperature

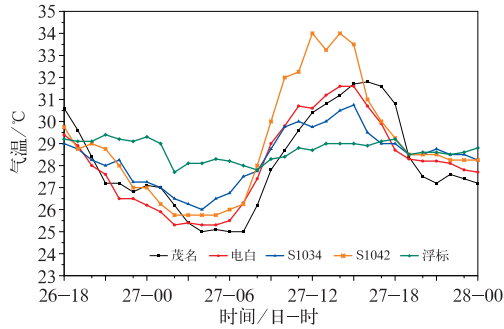


图 11 同图 7, 但为气温数据

Fig. 11 Same as Fig. 7, but for air temperature

日变化基本一致。

数据分析表明, S1034、S1042 设备对气温的观测能够反映大气气温变化, 具有明显的日变化特征。

3.2.3 海温

试验期间, S1031 与 S1034 两套设备具有海温传感器, 对经过质量控制后的两台漂流观测仪海温数据进行对比分析(图 12), 发现两站海温观测数据一致性较好, 并具有明显的日变化, 表现出有规律的

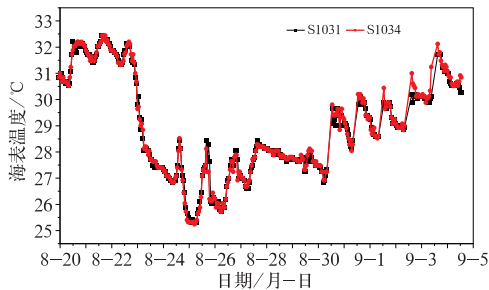


图 12 同图 5, 但为海表温度

Fig. 12 Same as Fig. 5, but for the sea surface temperature

升高和降低; 从 8 月 20 日 15 时开始, 两站海温均在台风登陆前表现出明显下降过程, 最大降幅达到 7°C 左右; 由于“天鸽”系统强度高于“帕卡”, 所以在两次台风过程中两套漂流观测仪的海温数据在“天鸽”过程中降幅明显大于“帕卡”过程中的降幅, 表现出仪器对海温的观测能力。

4 结论与讨论

本研究应用了 2017 年 8 月 20 日至 9 月 5 日漂流观测仪与电白站、茂名站、锚碇浮标站的观测数据, 结合试验期间所经历的台风天鸽与台风帕卡过程, 开展观测数据对比分析, 结果表明:

(1) 漂流观测仪所获取的观测数据与国家级业务观测站点的气压、气温数据相关性较好。由于气压观测数据受局地条件影响较小, 漂流观测仪 S1034、S1042 与电白站、茂名站、锚碇浮标站观测的气压值, 各站相关系数均超过 0.95, 相关性较高。对于气温要素, 各站既有规律性又有差异性, S1034 和 S1042 有较高的一致性, 与茂名站和电白站相关系数超过 0.8, 海洋气象漂流观测仪与国家级业务观测站点数据有较好的相关性。

(2) 漂流观测仪的观测数据较好地揭示了台风天气过程的特征。两次台风过程中, 气压数据表现出了明显的先降低后升高的规律, 且在较强台风过程中, 测量的气压最低值低于弱台风过程的气压最低值, 数据图上表现出一高一低两个明显波谷; 气温观测数据表现出台风登陆前后气温先降低再升高的变化规律, 同时, 由于受到台风影响, 在持续降水后, 陆上气温较海上回升较慢的这一变化特征也得到显示; 在台风过境时, 由于海上能量输送的影响, 漂流观测仪海温数据表现出了急剧下降的变化特征。

(3) 漂流观测仪的观测数据日变化特征明显。漂流观测仪观测的气压数据具有低值区、次低值区、高值区、次高值区, 具有明显的、合理的日变化规律; 对于气温和海温数据, 同样表现了合理的低值区与高值区, 反映了正常的气温及海温日变化规律。

(4) 在本次试验中, 漂流观测仪先后经历了两次台风过程, 设备一直运行稳定可靠, 观测数据均表现了较好的一致性, 揭示了台风到达前后天气变化的过程特征。这表明, 国产海洋气象漂流观测仪已具备在恶劣海况下进行实际观测的能力。为了进一步检验和完善设备的功能和性能, 后续将继续开展

远海的漂流观测试验。

致谢:感谢杨志勇、王亚静、张明等技术人员在试验中付出的辛苦劳动,感谢王志超、张然等在制图和文献等方面的支持。

参考文献

- 陈蓉,黄健,万齐林,等,2011. 茂名博贺海洋气象科学试验基地建设
与观测进展[J]. 热带气象学报,27(3):417-426. Chen R, Huang
J, Wan Q L, et al, 2011. An overview on the construction and
observation progress of marine meteorological science experi-
ment base at Bohe, Maoming[J]. J Trop Meteor, 27(3):417-426
(in Chinese).
- 国家气候中心,2017. 2017年8月中国气候影响评价[R]. 北京. Na-
tional Climate Center, 2017. Climate influence evaluation of Au-
gust 2017 in China[R](in Chinese).
- 洪常委,2014. 北斗卫星导航系统在海洋浮标中的应用[J]. 声学
与电子工程,(2):41-43. Hong C W, 2014. The application of Bei-
dou satellite navigation system on ocean buoy[J]. Acoust Electron
Eng,(2):41-43(in Chinese).
- 胡筱敏,林霄沛,熊学军,等,2008. 利用漂流浮标资料对黑潮及其
邻近海域表层流场及其季节分布特征的分析研究[J]. 海洋学
报,30(6):1-16. Hu X M, Lin X P, Xiong X J, et al, 2008. Surface
current field and seasonal variability in the Kuroshio and adja-
cent regions derived from satellite-tracked drifter data[J]. Acta
Oceanol Sin, 30(6):1-16(in Chinese).
- 孔卫奇,杨志勇,马尚昌,2017. 基于北斗通信系统气象水文漂流浮
标设计与实现[J]. 现代电子技术,40(19):160-163. Kong W Q,
Yang Z Y, Ma S C, 2017. Design and realization of Beidou com-
munication system based drifting buoy for meteorology and hy-
drology observation[J]. Mod Electron Tech, 40(19):160-163(in
Chinese).
- 李明,张林,刘骥平,等,2010. 利用南大洋漂流浮标数据评估 AMSR-
E SST[J]. 海洋学报,32(6):47-55. Li M, Zhang L, Liu J P, et
al, 2010. Evaluation of AMSR-E SST in the southern Ocean
using drifting buoy data[J]. Acta Oceanol Sin, 32(6):47-55(in
Chinese).
- 李文彬,张少永,商红梅,等,2011. 基于新一代 Argos 卫星系统的表
面漂流浮标设计[J]. 海洋技术,30(1):1-4,40. Li W B, Zhang S
Y, Shang H M, et al, 2011. Design of surface drifting buoy based
on Argos satellite system[J]. Ocean Technol, 30(1):1-4, 40(in
Chinese).
- 马庆峰,2009. 漂流浮标数据采集系统设计[D]. 青岛:中国海洋大
学. Ma Q F, 2009. The design of data acquisition system for drif-
ting float[D]. Qingdao: Ocean University of China(in Chinese).
- 祁安俊,杨志勇,马尚昌,等,2017. 基于 STM32F407 多路气象数据
采集系统的设计[J]. 成都信息工程大学学报,32(2):152-156.
Qi A J, Yang Z Y, Ma S C, et al, 2017. Design of STM32F407
multi-channel meteorological data acquisition system [J]. J
Chengdu Univ Inf Technol, 32(2):152-156(in Chinese).
- 孙仲汉,2000. 关于发展我国漂流浮标和锚泊浮标技术的建议[J]. 海
洋技术,19(2):13-17. Sun Z H, 2000. Suggestion on developing
technology for drifting float and moored buoy in China [J].
Ocean Technol, 19(2):13-17(in Chinese).
- 谢超,马学款,2017. 2017年8月大气环流和天气分析[J]. 气象,43
(11):1446-1452. Xie C, Ma X K, 2017. Analysis of the August
2017 atmospheric circulation and weather[J]. Meteor Mon, 43
(11):1446-1452(in Chinese).
- 余立中,1995. 表层漂流浮标的研制与海上实验[J]. 海洋技术,14
(3):61-68. Yu L Z, 1995. Development of at-sea test of the sur-
face during buoy[J]. Ocean Technol, 14(3):61-68(in Chinese).
- 余立中,1999. 浅析 SVP 使用的表层漂流浮标及在我国的应用现状
[J]. 海洋技术,18(1):18-22. Yu L Z, 1999. An elementary in-
troduction to the application of surface layer float in China[J].
Ocean Technol, 18(1):18-22(in Chinese).
- Lie H J, Cho C H, Lee J H, et al, 1998. Separation of the Kuroshio
water and its penetration onto the continental shelf west of
Kyushu[J]. J Geophys Res: Oceans, 103(C2):2963-2976.
- Lumpkin R, Pazos M, 2007. Measuring surface currents with Surface
Velocity Program drifters: the instrument, its data, and some re-
cent results[M]// Griffa A, Kirwan A D, Mariano A J. Lagran-
gian Analysis and Prediction of Coastal and Ocean Dynamics.
Cambridge: Cambridge University Press: 41-63.