

OSMAR-S100 便携式高频地波雷达海浪和 海面风探测性能分析*

魏国妹^{1,2} 商少平^{1,2,3} 贺志刚^{1,2,3} 董强² 刘轲²

(1. 厦门大学水声通信与海洋信息技术教育部重点实验室 厦门 361005; 2. 厦门大学海洋观测技术研发中心 厦门 361005;
3. 厦门大学海洋与地球学院 厦门 361102)

摘要 OSMAR-S 系列便携式高频地波雷达系统采用单极子/交叉环紧凑型天线阵,通过单站雷达即可实现有效探测距离约 10km 内海浪和海面风的单点观测。为了更好地了解 OSMAR-S100 雷达系统海浪和海面风的综合探测性能,于 2013 年 1 月 29 日至 3 月 7 日在台湾海峡西南部海域进行了雷达与浮标观测的对比试验,得到了有效波高、有效波周期、平均风速和平均风向数据。对比结果表明,OSMAR-S100 便携式高频地波雷达可有效观测距雷达 10km 以内有效波高 0.5m 以上的海浪平均状况和平均风速 5m/s 以上的海面风,雷达反演有效波高和有效波周期的均方根误差分别为 0.60m 和 1.60s,反演平均风速和平均风向的均方根误差为 1.83m/s 和 16.7°。在未经区域化标定的情况下,此结果说明了该型雷达产品已初步具备了海浪和海面风的业务化观测水平。

关键词 便携式; 高频地波雷达; 波高; 波周期; 风速; 风向

中图分类号 TN958 **doi:** 10.11693/hyh20150400120

高频地波雷达(high frequency surface wave radar, HFSWR)采用垂直极化天线辐射电波,利用高频电波(3—30MHz)在导电海洋表面绕射传播衰减小的特点,能探测到视距以外海面流场、风场和浪场参数分布。与其它的海洋监测设备相比,高频地波雷达具有测量精度高、监测面积大、投资较少的优点,同时由于高频地波雷达架设在岸边,系统工作受自然环境的影响较小,因此能够对海洋进行全天候的实时监测(Barnes, 1998)。

随着高频地波雷达在探测海洋表面动力学要素方面的广泛研究、应用和发展,国内外不少学者针对其在海态监测方面的实用性能,开展了海态要素的比测试验(Liu *et al.*, 2010; 朱大勇等, 2013; Wyatt *et al.*, 2013; Lorente *et al.*, 2014),其中较为普遍的方法是在海上布放定点或移动式观测设备,将雷达和海上设备的观测结果对比(Roarty *et al.*, 2003;

Long *et al.*, 2007; Molcard *et al.*, 2009; Helzel *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2014; Lorente *et al.*, 2015)。经过 40 多年的发展,高频地波雷达的海流探测具有较高的精度,已达到常规业务化海洋观测的水平(Barrick, 2008),但高频地波雷达对于海浪和海面风的反演技术处于发展阶段,水平尚不足以开展业务化观测(Green *et al.*, 2006; 吴雄斌等, 2012; 李伦等, 2012, 2014; Tian *et al.*, 2014; Chu *et al.*, 2015; Zhou *et al.*, 2015)。

OSMAR-S 系列便携式高频地波雷达系统是武汉大学电波传播实验室基于紧凑天线阵研制的,采用紧凑单极子/交叉环天线,实现海洋表面海流、海浪和海面风的监测,OSMAR-S 系列雷达建站灵活方便,可降低建站与使用成本。2007 年 11 月在上海海洋山海域进行了 OSMAR-S 与其它海洋测量设备的现场海流探测对比试验,从海流探测精度和探测深度上验证

* 国家高技术研究发展计划(863)项目, 2012AA091906 号; 台湾海峡冬季寒潮大风影响下的浪流响应与分析, 横向项目。魏国妹, 工程师, E-mail: weiguomei@163.com

通讯作者: 贺志刚, 副教授, zghe@xmu.edu.cn

收稿日期: 2015-04-21, 收修改稿日期: 2015-07-13

了雷达的海流探测能力(文必洋等, 2009, 2010), 随后该系统在浙江海域和山东海域业务化试运行。2010年 11 月在广东汕尾亚运会帆船赛期间, 将海域内 OSMAR-S 雷达(工作频率约 25MHz)测量的海流、海浪和海面风等数据与海上船只或浮标观测的数据进行对比, 结果显示 OSMAR-S 的浪高、浪周期和风速结果的短期起伏性较大, 且未能及时响应海面状态的变化, 雷达反演风速风向的误差偏大(周浩等, 2012)。

在 2010 年试验结果的基础上, 经过两年多的研究和改进, 硬件和算法都有一定程度的提高, 本文基于 OSMAR-S100 便携式高频地波雷达(工作频率约 13MHz)和海上定点观测浮标在台湾海峡西南部 2013 年 1 月 29 日至 3 月 7 日的观测结果, 在雷达连续稳定工作的前提下, 检验雷达在不同海况下对海浪的探测精度及不同风力等级下对海面风的探测精度, 综合分析 OSMAR-S100 对海浪和海面风的探测性能, 并进行适用性评估。

1 雷达系统及试验概况

本次试验使用的是武汉大学和武汉德威斯电子技术有限公司共同研制的 OSMAR-S100 便携式高频地波雷达, 该系统采用了线性中断调频连续波体制和单极子/交叉环紧凑型天线阵, 可实现有效探测区域内海洋表层流、海浪和海面风的观测。OSMAR-S100 工作频率约 13MHz(相应波长为 23.1m), 波束覆盖扇角 120°, 关于海面风 and 海浪的厂家标称指标为有效探测距离雷达约 10km 内的海面风和海浪的平均值, 由单站雷达观测即可。

OSMAR-S100 高频地波雷达工作站点位于漳州市漳浦县的下垵, 观测区域为台湾海峡西南部海域, 同时进行海面风和海浪观测的海上浮标观测站距雷达观测站 10.5km(图 1)。为了综合检验 OSMAR-S100 便携式高频地波雷达探测海浪和海面风的有效性、稳定性和环境适应性, 雷达站及海上观测站点的有效观测时间均在 1 个月以上, 从 2013 年 1 月 29 日至 3 月 7 日。

海浪和海面风观测分别采用美国 YOUNG 公司型号 05103 的风传感器及山东省科学院海洋仪器仪表研究所型号 SBY1-1 压力式波浪传感器。将风、浪传感器集成在 3m 浮标上, 这种观测方式安全性较高, 且数据可以实时传输, 数据质量能够保证比测需要。

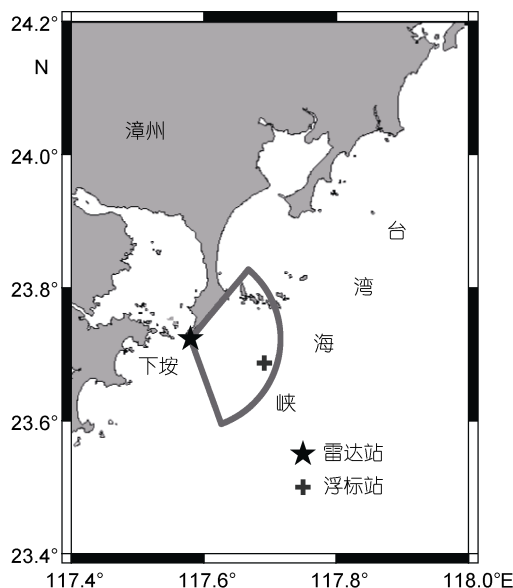


图 1 雷达和浮标站位图

Fig.1 Deployment of the radar OSMAR-S100 (star) and the buoy (plus sign)

2 对比方法

浮标海浪和海面风数据分开采集, 采样频率和采样时间都不一致。海浪数据采样频率为 30min, 数据时间点为逢 0min、30min 的时刻, 如 0:00、0:30, 采样时间段为数据时间点前 20min, 即采样时间段 0:10—0:30, 采集的是数据时间点 0:30 的数据。瞬时风速风向采样频率为 1min, 将某一时段内的瞬时风速风向矢量平均即可得到对应时段内的平均风速风向。

OSMAR-S100 高频地波雷达的海态数据采样频率为 20min, 数据时间点为整点起尾数逢 0min 的时刻, 如 0:00、0:20、0:40 等, 采样时间段为数据时间点前 20min, 即采样时间段 0:00—0:20, 采集的是数据时间点 0:20 的数据。

为了浮标和雷达的采样时间段尽量重合, 将雷达每组数据观测时间段内的浮标瞬时风速风向数据作矢量平均, 然后与雷达数据对比进行分析和误差统计等。浮标海浪只有整点时刻采集的数据可与雷达数据完全对应。

评估高频地波雷达海浪和海面风数据的精度, 以同时段的浮标数据为基准, 计算雷达观测结果与海上浮标观测数据的平均绝对误差(MAE)、均方根误差(RMS)、相关系数(R)和复相关系数。考虑到雷达探测海浪和海面风的厂家指标表达方式以及国际上常用的误差表达方法, 在统计它们的误差时引入百分比误差(η)。由于海面风是矢量, 因此采用复相关系数

来分析浮标测得的海面风与高频地波雷达测得的海面风的相关性,其表达式如下(Kundu, 1976):

$$\rho = \frac{\langle u_1 u_2 + v_1 v_2 \rangle}{\left(\langle u_1^2 + v_1^2 \rangle \langle u_2^2 + v_2^2 \rangle \right)^{\frac{1}{2}}} + i \frac{\langle v_1 v_2 - u_1 u_2 \rangle}{\left(\langle u_1^2 + v_1^2 \rangle \langle u_2^2 + v_2^2 \rangle \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

式(1)中,尖括号表示时间平均, u 和 v 分别表示海面风的东分量和北分量,下标 1 和 2 分别表示浮标和雷达,复数 ρ 的模表示雷达和浮标数据整体的相关性。

3 试验结果

3.1 雷达运行情况

雷达连续工作是其稳定运行的重要保证,实际得到的采样场次越接近于理论采样场次,则说明雷达的连续工作能力越强。时间有效采样率可用于说明雷达工作的连续性,其定义如下:

时间有效采样率 = 统计期间实际采样场次 / 统计期间理论采样场次

根据高频地波雷达的实际工作情况,OSMAR-S100 高频地波雷达原始数据的时间有效采样率为 99.8%,海浪和海面风的时间有效采样率均为 99.4%,总体上雷达系统能稳定地探测海浪和海面风。

3.2 海浪的对比

OSMAR-S100 高频地波雷达观测的海浪有效波

高、有效波周期与浮标测波结果的时间序列对比如图 2,对应的散点图如图 3。OSMAR-S100 和浮标的有效波高随时间的变化趋势较为一致,对比结果大部分较为集中地分布在 1:1 线的附近,相关性高, R 为 0.852; 两设备有效波周期的变化趋势略有差别,但两者之间显著相关, R 为 0.275。从散点图上可以明显看出,OSMAR-S100 的有效波高测量结果总体上存在系统性偏差,对两设备观测结果进行线性拟合,雷达有效波高总体上高估约 0.5m,这是由雷达有效波高反演算法中的加权系数决定的,可以通过区域化标定来确定此加权系数以减小系统偏差;与有效波高相比,OSMAR-S100 和浮标测量的有效波周期相关性较差,对比结果较为离散,这是因为目前 OSMAR-S100 有效波周期的反演算法还不够成熟。

根据厂家指标,雷达探测有效波高的范围是 1—10m,均方根误差(RMS) $\leq 1\text{m} + \text{测量值的 } 20\%$; 雷达探测有效波周期的范围是 0—15s, $\text{RMS} \leq 1\text{s} + \text{测量值的 } 10\%$ 。结合厂家对海浪的探测指标,对雷达有效探测范围内的对比结果进行统计,有效波高的 MAE 为 0.45m、RMS 为 0.58m、 η 为 25.3%,有效波周期的 MAE 为 1.08s、RMS 为 1.38s、 η 为 17.4%,达到厂家指标的要求。

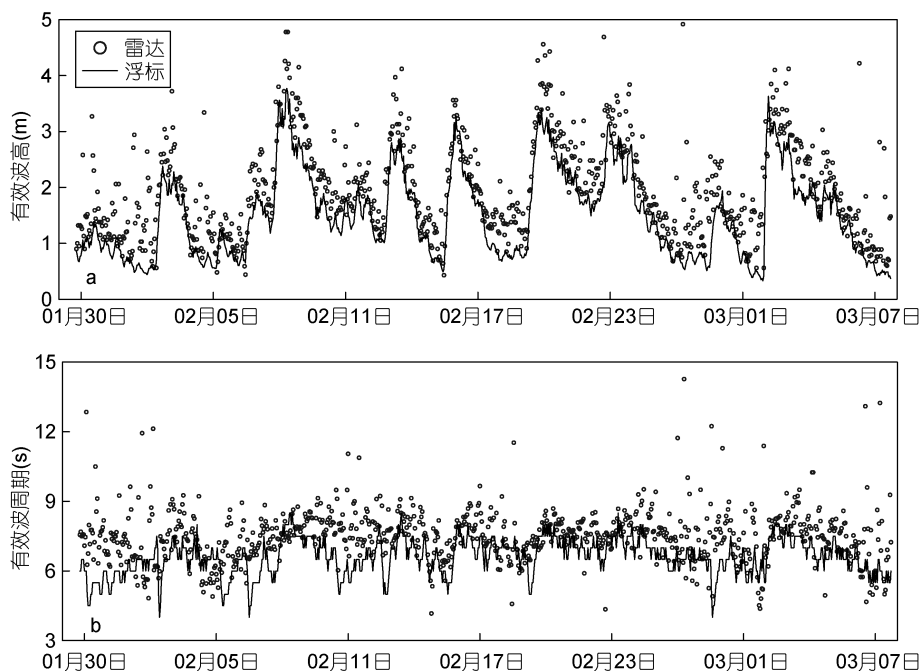


图 2 OSMAR-S100 雷达与浮标测波结果的时间序列对比

Fig.2 The time series of wave recorded by radar OSMAR-S100 system and the buoy
a. 有效波高, b. 有效波周期

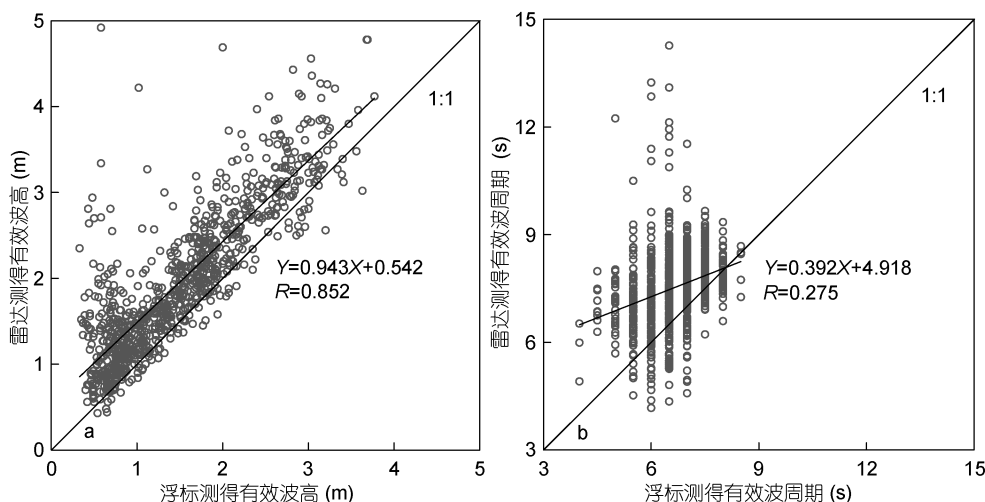


图3 OSMAR-S100 雷达与浮标测波结果的散点对比

Fig.3 Scatter diagram of wave recorded by radar OSMAR-S100 system and the buoy

a: 有效波高; b: 有效波周期

3.3 海面风的对比

OSMAR-S100 高频地波雷达观测的风矢量与浮标风矢量的时间序列对比如图 4, 当浮标风速较大时, 雷达和浮标的风速和风向较为一致, 雷达能有效反映风的变化趋势, 当浮标的风速减小时, 雷达风速出现明显的高估, 风向出现部分误判的情况。从散点图(图 5)可以更为直观看出, 当浮标风速大于 5m/s 时, OSMAR-S100 高频地波雷达和浮标的对比结果基本上集中且均匀地分布在 1:1 线的两侧, 相关性较高, R 为 0.708, 但浮标风速小于 5m/s 时, 雷达的风速明显高估。考虑到海面风是一个矢量, 且低风速时风向存在不确定性, 因此只对浮标风速大于 5m/s 时的风向进行散点对比(图 5b), 浮标和雷达的风向基本上都在 0° — 90° 之间变化, 两者的结果较为一致, 复相关系数为 0.968。雷达测量的风速为 20m/s 和风向在 270° — 360° 的明显跳变点是由周围环境中的短波干扰造成, 可通过采用该观测时刻前后时间段的数据来进行质控剔除。

根据厂家指标, 雷达探测平均风速和风向的范围是 5—75m/s 和 0° — 360° , 在稳态风场风速 $> 5\text{m/s}$ 时, 风速的 $\text{RMS} \leq 3\text{m/s} + \text{测量值的 } 15\%$, 风向的 $\text{RMS} \leq 40^{\circ}$ 。结合厂家对海面风的探测要求, 对满足雷达探测条件内的海面风对比结果进行统计, 平均风速的 MAE 为 1.37m/s、RMS 为 1.83m/s、 η 为 16.2%, 平均风向的 MAE 为 11.4° 、RMS 为 16.7° , 达到厂家指标的要求。

4 讨论

4.1 雷达探测海浪的适用性

考虑到高频地波雷达海浪探测性能对海况条件

的依赖性, 以浮标观测的有效波高为基准, 对不同海况下雷达探测有效波高和有效波周期的误差进行统计(图 6)。试验期间的海况为 2—5 级, 其中 3 级和 4 级海况所占的比例均超过 40%。以均方根误差为例, 2—4 级海况下, 雷达观测有效波高的误差随海况的增高而减小, 5 级海况下的误差略大于 4 级海况; 2—5 级海况下, 海况越差, 雷达有效波周期的误差越小。2 级海况下雷达探测有效波高和有效波周期的精度较差, 有效波高的 MAE、RMS 和 η 分别为 0.87m、1.10m 和 203%, 有效波周期的 MAE、RMS 和 η 分别为 1.60s、2.14s 和 26.3%, 误差明显大于 3—5 级海况下: 3—5 级海况下有效波高的 MAE、RMS 和 η 分别为 0.45—0.50m、0.56—0.66m 和 17.3%—61.2%, 有效波周期的 MAE、RMS 和 η 分别为 0.47—1.23s、0.58—1.66m 和 6.2%—20.7%。因此, OSMAR-S100 高频地波雷达探测 2 级及以下海况的精度较差, 该系统可用于 3—5 级海况下的波浪探测。

结合不同海况下 OSMAR-S100 高频地波雷达的测浪误差, 浮标测得的有效波高低于 0.5m(含 0.5m)的数据点不参与相关系数、MAE 和 RMS 的计算, 考虑到小波高条件下 η 无实际价值, 浮标测得的有效波高低于 1m(含 1m)的数据不参与百分比误差计算。雷达和浮标有效波高的相关系数为 0.868, 误差较小, MAE、RMS 和 η 分别为 0.46m、0.60m 和 24.3%; 有效波周期的误差也较小, MAE、RMS 和 η 分别为 1.14s、1.60s 和 17.0%, 相关系数为 0.229, 雷达和浮标观测结果显著相关。总体上, OSMAR-S100 高频地

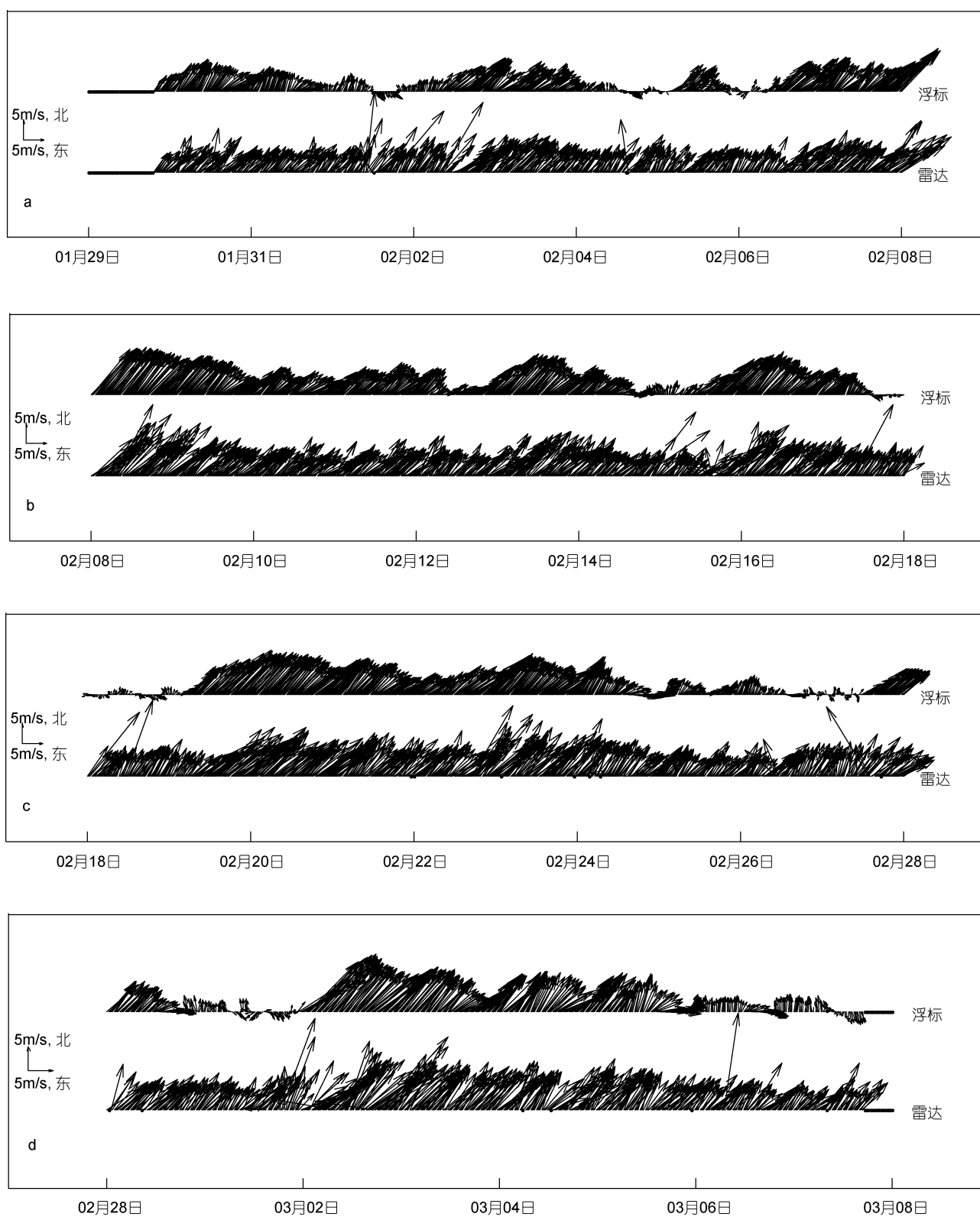


图 4 OSMAR-S100 雷达与浮标测风结果的时间序列对比

Fig.4 The time series of wind recorded by radar OSMAR-S100 system and the buoy
a: 2013.1.29—2013.2.7; b: 2013.2.8—2013.2.17; c: 2013.2.18—
2013.2.27; d: 2013.2.28—2013.3.7

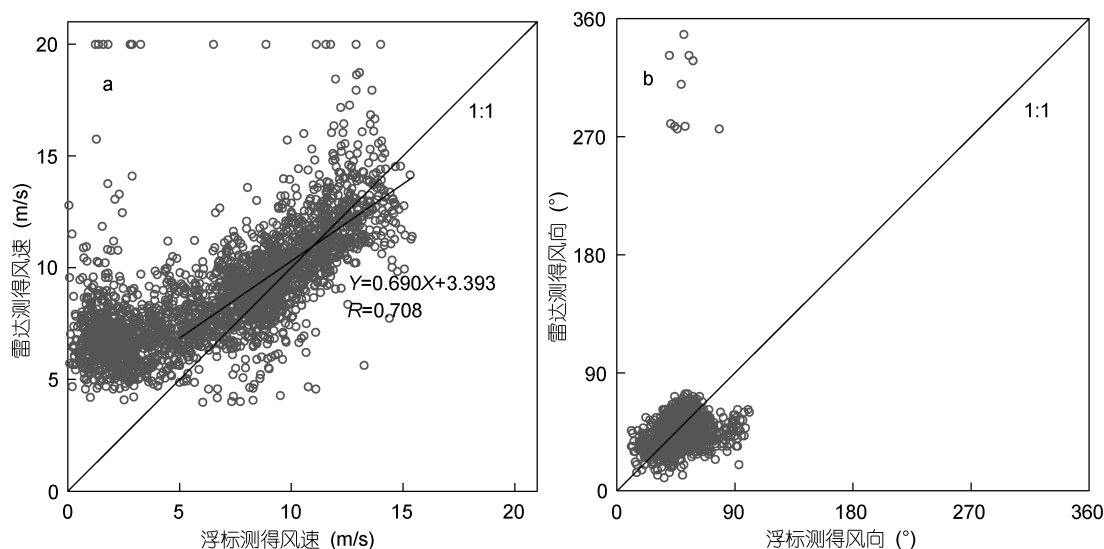


图 5 OSMAR-S100 雷达与浮标测风结果的散点对比

Fig.5 Scatter diagram of the wind by OSMAR-S100 system and the buoy

a: 平均风速(拟合曲线是针对风速大于 5m/s), b: 平均风向(风速大于 5m/s)

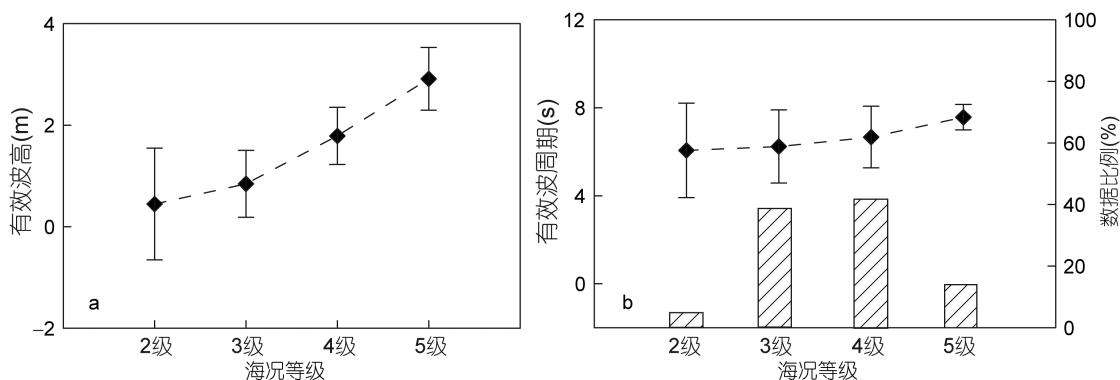


图 6 不同海况下 OSMAR-S100 雷达与浮标测波的对比

Fig.6 Comparison between wave measurements by radar OSMAR-S100 system and the buoy at different sea states

a: 有效波高, b: 有效波周期; 菱形表示对应海况(2—5 级)下浮标有效波高或有效波周期的平均值, 误差条表示雷达与浮标有效波高或有效波周期的均方根误差, 柱状图表示不同海况下的有效数据在所有有效对比数据中所占的比例

波雷达可有效观测 10km 以内有效波高 0.5m 以上的海浪。

4.2 雷达探测海面风的适用性

以浮标观测的平均风速为基准, 对不同风力等级下雷达风速和风向的探测误差进行统计(图 7)。试验期间海面风在 7 级及以下, 分布比例随海况的变化出现了双峰现象, 5 级风力下的主峰(27.4%)和 2 级风力下的次峰(17.4%)。以均方根误差为例, 0—5 级风力下, 风越大, 雷达观测平均风速和风向的误差越小; 5—7 级风力下则相反, 风越大, 误差越大。0—2 级风力下, 雷达平均风速的 MAE、RMS 和 η 分别为 4.65—8.43m/s、5.14—8.94m/s 和 216%—9723%, 平均风向的 MAE 和 RMS 分别为 42.5°—77.6°和 62.5°—

93.8°, 误差明显大于其它风力条件下, 因此, OSMAR-S100 高频地波雷达探测 2 级以下(含 2 级)的海面风精度较差。

OSMAR-S100 高频地波雷达的风速是基于有效波高反演得到的, 所以雷达风速的反演效果受雷达探测有效波高精度的影响。考虑到雷达可较好观测有效波高 0.5m 以上的海浪以及雷达探测的系统偏差(约 0.5m), 可得知雷达反演的有效波高应在 1m 以上(关系式见图 3a)。根据试验期间海上浮标观测的有效波高和海面平均风速之间的关系(图 8), 当有效波高在 1m 以上时, 对应的平均风速约在 5m/s 以上。所以当雷达风速大于 5m/s 时, 雷达反演风速的精度较高。

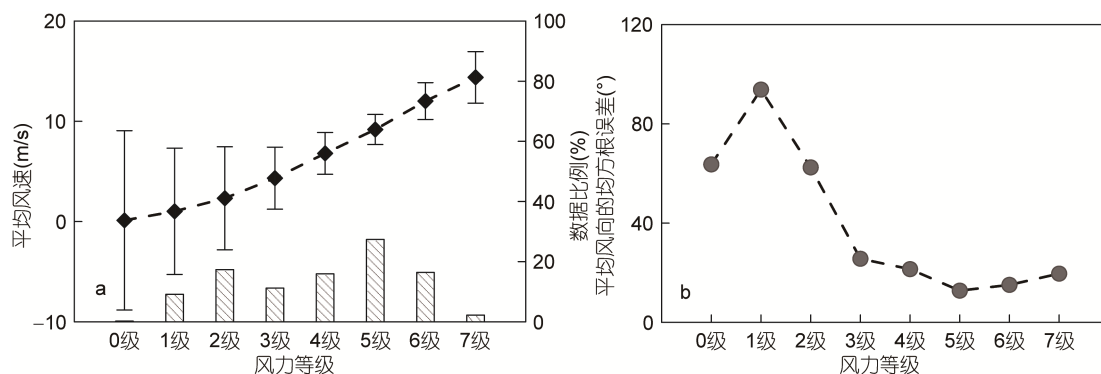


图 7 不同风力等级下 OSMAR-S100 雷达与浮标测风的对比结果

Fig.7 Comparison between wind measurements by radar OSMAR-S100 system and the buoy under different wind speeds
a: 平均风速, b: 平均风向; 菱形表示对应风力等级(0—7 级)下浮标平均风速的平均值, 误差条表示雷达与浮标平均风速的均方根误差, 柱状图表示不同海况下的有效数据在所有对比数据中所占的比例, 圆点表示对应风力等级下雷达与浮标平均风向的均方根误差

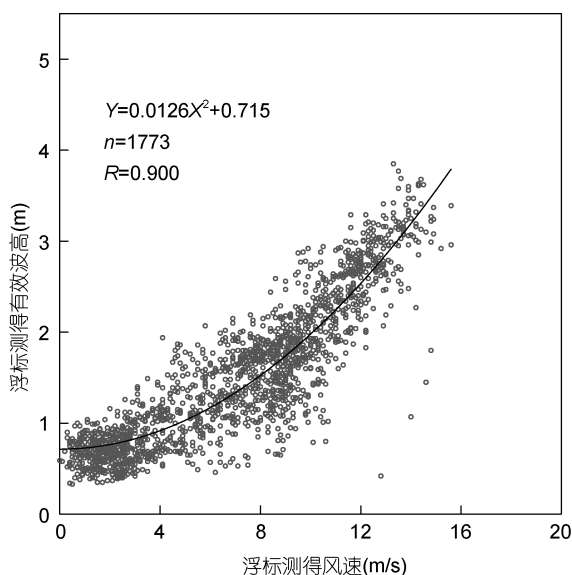


图 8 浮标测得的有效波高和风速之间的关系

Fig.8 Relationship between significant wave height and wind speed recorded by the buoy

综合 OSMAR-S100 高频地波雷达和浮标观测海面风的散点对比及不同风力下的测风结果, 对雷达海面风进行相关性分析和误差统计, 当浮标风速大于 5m/s 时, 雷达和浮标海面风具有较高的相关性, 平均风速风向的复相关系数为 0.968, 平均风速的相关系数为 0.708, 误差较小, 平均风速的 MAE、RMS 和 η 分别为 1.37m/s、1.83m/s 和 16.2%; 平均风向的误差也较小, MAE、RMS 分别为 11.4°和 16.7°。因此, OSMAR-S100 高频地波雷达适用于 10km 以内平均风速 5m/s 以上的海面风观测。

5 结论

在 2013 年 1 月 29 日至 3 月 7 日的试验过程中,

OSMAR-S100 便携式高频地波雷达原始数据的时间有效采样率为 99.8%, 雷达海浪和海面风数据的时间有效采样率为 99.4%, 说明该系统能稳定地探测海浪和海面风。

将试验期间 OSMAR-S100 高频地波雷达和雷达有效探测范围内浮标的波浪、海面风数据进行对比分析。结果显示: (1) 当浮标有效波高大于 0.5m 时, 雷达反演有效波高 RMS 和 η 分别为 0.60m 和 24.3%(百分比误差是针对浮标有效波高在 1m 以上的波浪), 反演有效波周期 RMS 和 η 分别为 1.60s 和 17.0%; (2) 当浮标平均风速大于 5m/s 时, 雷达反演平均风速 RMS 和 η 分别为 1.83m/s 和 16.2%; 反演平均风向 RMS 为 16.7°。总体上, OSMAR-S100 高频地波雷达可有效反演距雷达 10km 以内有效波高 0.5m 以上的海浪平均状况和平均风速 5m/s 以上的海面风。目前国内外的高频地波雷达在波浪和海面风方面的反演技术正处于发展阶段, 对于工程应用的业务化观测需求有一定的不足。在未经任何区域化标定的情况下, 本研究的试验结果说明了 OSMAR-S100 便携式高频地波雷达已初步具备了海浪和海面风的业务化观测水平。

本文基于 37 天的海上观测数据验证了 OSMAR-S100 便携式高频地波雷达对海浪和海面风的探测性能。考虑到高海况下, 高阶非线性作用较强, 使得一阶谱和二阶谱的边界不易区分, 可能影响雷达对海浪和海面风的探测精度, 但试验期间所获取的现场实测有效波高均不超过 4m, 平均风速不超过 15.5m/s, 而且观测期间的风向主要是以东北向为主, 使得本文的研究存在局限性, 应累积更多不同季节、不同海况下以及不同环境中的数据进行深入分析研究。

致谢 武汉德威斯电子技术有限公司提供了雷达

和浮标观测数据, 谨致谢忱。

参 考 文 献

- 文必洋, 李自立, 周 浩等, 2009. 便携式高频地波雷达东海表面流探测试验. 电子学报, 37(12): 2778—2782
- 文必洋, 李自立, 周 浩等, 2010. 便携式高频地波雷达东海洋山海域探测深度试验. 电子与信息学报, 32(4): 998—1002
- 朱大勇, 李 炎, 郭小钢等, 2013. 高频地波雷达海流验证研究述评. 热带海洋学报, 32(4): 1—7
- 李 伦, 吴雄斌, 徐兴安, 2014. 基于优化理论的高频地波雷达海浪参数反演. 物理学报, 63(3): 038403-1—038403-11
- 李 伦, 吴雄斌, 徐兴安等, 2012. 高频地波雷达风速反演经验模型. 武汉大学学报(信息科学版), 37(9): 1096—1099
- 吴雄斌, 李 伦, 李 炎等, 2012. 高频地波雷达海面有效波高探测实验研究. 海洋与湖沼, 43(2): 210—216
- 周 浩, 文必洋, 吴世才等, 2012. 亚帆赛间便携式高频地波雷达的海态观测. 电波科学学报, 27(2): 293—300
- Barnes L, 1998. HF Radar-The Key to Efficient Wide Area Maritime Surveillance. EEZ Technology (Edition 3), London: ICG Publishing LTD, 115—118
- Barrick D E, 2008. 30 Years of CMTC and CODAR. Proceedings of the IEEE/OES Ninth Working Conference on Current Measurement Technology, March 17—19, 2008. Charleston, SC, USA: IEEE, 131—136
- Chu X L, Zhang J, Wang S Y *et al*, 2015. A comparison of algorithms for extracting wind direction from the monostatic HF radar sea echoes. Proceedings of the International Conference on Electronic Science and Automation Control (ESAC 2015). Sunnyvale, CA: Atlantis Press, 116—119
- Green J J, Wyatt L R, 2006. Row-action inversion of the Barrick-Weber equations. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 23(3): 501—510
- Helzel T, Kniephoff M, Petersen L, 2010. Oceanography radar system WERA: features, accuracy, reliability and limitations. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 18(3): 389—397
- Kundu P K, 1976. Ekman veering observed near the ocean bottom. Journal of Physical Oceanography, 6(2): 238—242
- Liu Y G, Weisberg R H, Merz C R *et al*, 2010. HF radar performance in a low-energy environment: CODAR SeaSonde experience on the West Florida Shelf. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 27(10): 1689—1710
- Liu Y G, Weisberg R H, Merz C R, 2014. Assessment of CODAR SeaSonde and WERA HF radars in mapping surface currents on the West Florida Shelf. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 31(6): 1363—1382
- Long R M, Barrick D E, 2007. Surface current measurements during safe seas 2006: Comparison and validation of measurements from high-frequency radar and the quick release estuarine buoy. Proceedings of the OCEANS 2007, September 29, 2007—October 4, 2007. Vancouver, BC, USA: IEEE, 1—7
- Lorente P, Soto-Navarro J, Fanjul E A *et al*, 2014. Accuracy assessment of high frequency radar current measurements in the Strait of Gibraltar. Journal of Operational Oceanography, 7(2): 59—73
- Lorente P, Piedracoba S, Fanjul E A, 2015. Validation of high-frequency radar ocean surface current observations in the NW of the Iberian Peninsula. Continental Shelf Research, 92: 1—15
- Molcard A, Poulain P M, Forget P *et al*, 2009. Comparison between VHF radar observations and data from drifter clusters in the Gulf of La Spezia (Mediterranean Sea). Journal of Marine Systems, 78: S79—S89
- Roarty H, Kohut J, Glenn S, 2003. Intercomparison of an ADCP, ADP, standard and long-range HF RADAR: Influence of Horizontal and Vertical Shear. Proceedings of the IEEE/OES Seventh Working Conference on Current Measurement Technology, March 13—15, 2003. San Diego, CA, USA: IEEE, 75—78
- Tian Y W, Wen B Y, Zhou H, 2014. Measurement of High and Low Waves Using Dual-Frequency Broad-Beam HF Radar. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 11(9): 1599—1603
- Wyatt L R, Atwater D, Prytz A *et al*, 2013. A comparison between SeaSonde and WERA HF radar current measurements. Proceedings of the 2013 MTS/IEEE OCEANS—Bergen Conference, June 10—14, 2013. Bergen, Norway: IEEE, 1—4
- Zhou H, Roarty H, Wen B Y, 2015. Wave height measurement in the Taiwan Strait with a portable high frequency surface wave radar. Acta Oceanologica Sinica, 34(1): 73—78

PERFORMANCE OF WAVE-WIND DETECTION BY PORTABLE RADAR HFSWR OSMAR-S100

WEI Guo-Mei^{1, 2}, SHANG Shao-Ping^{1, 2, 3}, HE Zhi-Gang^{1, 2, 3}, DONG Qiang², LIU Ke²

(1. Key Laboratory of Underwater Acoustic Communication and Marine Information Technology Ministry of Education, Xiamen University Xiamen 361005, China; 2. Research and Development Center for Ocean Observation Technologies, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 3. College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361102, China)

Abstract OSMAR-S is a portable high frequency surface wave radar (HFSWR) system with built-in orthogonal loop/whip antenna arrays. To evaluate the performance of the system, we detected the mean wave and wind field in an effective detection area of 10km in the southwestern Taiwan Strait during Jan. 29—Mar. 7, 2013 with the radar and a buoy, and their measurement data were compared. Results show that performance of the radar was good, as it can well detect the average wave height >0.5m and averaged wind speed >5m/s. The root mean square error (RMS) of inversion calculation was 0.60m for wave height, 1.60s for wave period, 1.83m/s for wind speed, and 16.7° for wind direction. Therefore, the radar system is robust and can be promoted for real time application for monitoring wave and wind under rough sea conditions.

Key words portable; HFSWR; wave height; wave period; wind speed; wind direction