

基于 OS071X 测波雷达的波浪探测分析

李卫丁,姚建波,徐灵燕

(国家海洋局东海分局舟山海洋工作站 舟山 316021)

摘要:文章利用舟山海洋环境监测站 2014 年第 16 号台风“凤凰”过境影响期间,对 OS071X 测波雷达和 3 m 波浪浮标在同一海域内的波浪探测资料进行了对比验证。通过分析,OS071X 测波雷达探测反演的有效波高、周期与 3 m 波浪浮标探测结果对比,二者按先后顺序的均方根误差分别为 0.27 m 和 0.29 m,相关系数分别为 0.93 和 0.90。结果表明,OS071X 测波雷达系统的探测精度得到了验证,能够满足实时探测近岸海域波浪的需求。

关键词:测波雷达;3 m 浮标;波浪探测;对比验证

中图分类号:P717 文献标志码:A 文章编号:1005-9857(2016)03-0069-03

Wave Detecting Analysis Based on the OS071X Wave Detecting Radar

LI Weiding, YAO Jianbo, XU Lingyan

(Zhoushan marine workstation of East China Sea Branch of S. O. A, Zhoushan 316022, China)

Abstract: In this paper, radar measurements of OS071X and 3m wave buoy in the waves soundings within the same area were compared by using the data obtained during the period of Typhoon No. 16 of 2014 “Phoenix” transit influence period of Zhoushan Marine Environmental Monitoring Station. By analyzing the OS071X measured radar detection inversion significant wave height, period and 3 m wave buoy detection results, both RMSE by the order of 0.27 m and 0.29 m respectively, correlation coefficients were 0.93 and 0.90. The results showed that OS071X radar detection accuracy measurement system had been verified, and was able to meet the needs of real-time detection of waves in coastal waters.

Key words: Radar measurements, 3 m buoy, Wave Detection, Compare verification

X 测波雷达以其性能稳定、体积小、机动便捷的特点成为近海、海上平台和船舶对海况探测的重要手段。近 20 年来,海洋学者在关于 X 测波雷达反演海浪、海流、海风场的理论和实践方面取得了诸多进展^[1-4],相关国家也都相继研制出高频地波雷达系统应用于海洋表面状态的监测和研究,并开展了各种相关的对比实验^[5-9]。

2013 年国家海洋局舟山海洋环境监测站相继

建设了 OS071X 测波雷达和 3 m 波浪浮标,用以探测舟山近岸海洋环境。由于国内对 X 测波雷达的研究起步较晚,且限于海况探测资料对比实验的缺乏,为了验证 OS071X 测波雷达系统的实用性能,本文将 OS071X 测波雷达和 3 m 多参数波浪浮标的波浪探测数据进行了对比验证分析,为更好地了解 X 测波雷达系统的性能和其在该海域开展业务化波

浪探测提供了科学的实验数据。

1 资料来源

本文所用资料来源于国家海洋局舟山海洋环境监测站,2014年9月第16号台风“凤凰”过境影响期间的OS071X测波雷达和3 m波浪浮标的波浪探测资料。舟山海洋环境监测站位于舟山群岛新区东部的朱家尖岛上,所在测点濒临东海,海岸线呈南北走向。OS071X测波雷达(A)选择主流的X波段船用雷达作为前端探测传感器,同时数字化接收实时的海面回波信号,采样扇角 170° ,波浪探测半径5 km,距离分辨率15 m,采样区域面积 $1.5 \text{ km} \times 1.5 \text{ km}$ 正方形。3 m波浪浮标(SZF2-1A型)采用中国海洋大学生产的SZF型波浪传感器,以获取定点、定时的海面浪高、周期和浪向。3 m波浪浮标(B)离岸距离1.5 km,水深30 m。

2 台风影响与数据处理

2014年第16号超强台风“凤凰”9月22日19:35时在浙江象山登陆,中心附近最大风力10级,对比验证期间舟山东部海域波浪较大,天气过程变化明显,因此本次海上对比验证极具代表性。根据舟山海洋环境监测站3 m波浪浮标对该海域的海况探测结果,2014年9月21—23日,受台风影响,依次出现3级→4级→5级→4级→3级海况的明显变化过程。

为了客观分析OS071X测波雷达探测波浪数据与同区域3 m波浪浮标测得波浪数据的误差,以相关系数和均方根误差作为OS071X测波雷达探测误差的分析参数。定义其他对比设备获取波浪参数的时间序列为 Y_i ,OS071X雷达探测波浪结果的时间序列为 X_i ,则两者的相关系数:

$$r = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

$$i = 1, 2, \dots, n, |r| \leq 1$$

将 Y_i 作为动态真值,OS071X雷达探测的 X_i 作为测量值,则探测误差为 $A_i = Y_i - X_i$ 。 A_i 就是要分析的实验数据系列, \bar{A} 为 A_i 算术平均值,离差 $d_i = A_i - \bar{A}$,则均方根误差 $\delta\sigma = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n-1}}$,等同于

$$\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum [X_i - \bar{X} - (Y_i - \bar{Y})]^2} \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

均方根误差表示估计值与相应实测值偏离程度的量,是表示精密度的较好方法之一,应用于此处的目的是为了反映和分析OS071X雷达波浪参数测量值偏离3 m波浪浮标测量值的程度大小,均方根误差值越小,说明OS071X雷达测量值与3 m波浪浮标测量值吻合程度越好,反之越差。

3 结果和分析

本文选取2014年9月21—23日完整的3 d周期,OS071X雷达探测有效数据432组,3 m波浪浮标探测有效数据144组。由于OS071X雷达与3 m波浪浮标的探测时间间隔不同,以3 m波浪浮标的探测时间为基准,取相同探测时次的有效波高和对应周期值进行对比验证分析。在台风“凤凰”的外围影响下,该探测海域于9月22日夜间产生的波浪最大,至23日台风穿过浙江、上海后远离东海,台风周期已经结束,该周期记录了浪高由小到大再趋于平静的一个抛物线过渡的过程,比较具有代表性。

由图1可以看出,OS071X雷达与3 m波浪浮标在相同探测时次上,两者探测数据所反应的有效波高变化趋势基本一致。9月21日台风“凤凰”沿台湾东岸北上开始影响探测海域,两者探测的有效波高均逐渐增大,22日急速增高至夜间,达到最大值5.1 m;之后台风“凤凰”对探测海域的影响开始减小,两者探测的有效波高亦逐渐降低,至23日夜间有效波高回落至正常海况下的波高范围。对比两者探测有效波高和周期,在台风“凤凰”的最大影响时段下,有效波高和对应周期也都达到最大,在此高海况下两者探测的有效波高和周期在变化趋势上有较好的一致性。但在最大值(5级海况)上,3 m波浪浮标探测的有效波高和周期都大于OS071X雷达探测值,其他多数据情况(4级海况)下,两者探测的过程曲线变化趋势吻合较好。

在表1中,相关系数表示雷达探测值与对比设备探测值之间的关联程度。根据OS071X雷达与3 m波浪浮标在相同时次探测的有效波高和主波向的参数统计,结果表明,对比期间OS071X雷达与3 m波浪浮标的探测数据总体上相关性较好,相关

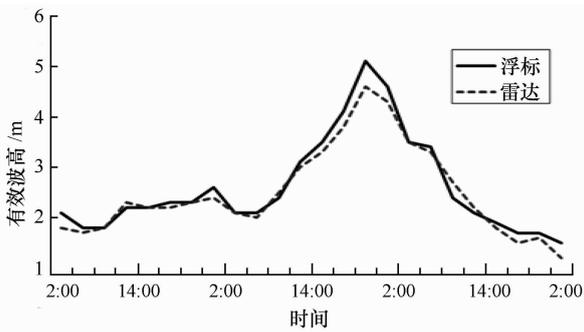


图1 有效波高数据对比

系数分别达 0.93 和 0.90。OS071X 雷达与 3 m 波浪浮标探测数据的相关系数符合《海洋环境监测站自动监测仪器现场比对方法》的技术标准 (≥ 0.90), 如果以 3 m 波浪浮标探测数据作为该海域处最贴近真实值的数值, 则可以反映出 OS071X 雷达探测数值在该海域处探测的可靠性。

表1 对比数据参数统计

类别	平均误差	相对误差	均方差	相关系数
波高	0.25 m	16.28%	0.27 m	0.93
周期	0.32 s	17.64%	0.29 s	0.90

通过 OS071X 雷达与 3 m 波浪浮标相同时次探测主波向对比数据显示, 两者探测数据所反映的主波向变化趋势大致一致, 但也存在一定的差异性: 在 22 日台风“凤凰”影响探测海域最大时的高海况下, 两者探测的主波向变化趋势较为一致, 而在台风影响前后海域波浪较小时, 两者探测值差异相对较大。由于 3 m 波浪浮标是以定点探测波浪数据, 有其偶然性与波动惯性; 而 OS071X 雷达则是对一定面积的海域进行探测并反演出该区域的波浪变化, 两种不同的探测手段必然造成两种探测数据之间存在系统差异^[10]。

4 结束语

本文所做的对比验证分析, 虽然 OS071X 雷达探测数据周期短, 但在台风“凤凰”的影响下, OS071X 雷达探测所获取的波高数据在 1.2 ~ 4.5 m 的不同海况之间, 使得本文的分析验证具有较好的代表性。文中 OS071X 雷达探测反演与 3 m 波浪浮标探测值的近似程度、对海况条件的依赖

性、对比验证设备探测时空特性的差别、3 m 波浪浮标以点探测的特殊性以及地形地貌的影响等都有可能对对比验证产生误差, 这些因素的影响都值得开展进一步的分析研究。此次 OS071X 雷达与 3 m 波浪浮标的对比分析, 主要考察了 OS071X 雷达对海域波浪探测的准确性和可靠性, 同时也验证了 OS071X 雷达的实用性能, 符合近岸局部海域实时波浪探测的相关要求。

参考文献

- [1] WOLF J. Waves at Holderness: results from in situ measurements[M]. Brighton, UK: Proceedings of Oceanology, 1998: 387-398.
- [2] NIETO-BORGE J C, RODRIGUEZ G R, HESSEN R K. Inversion of mafineradar images for surface wave analysis[J]. Journal of Atmospheric and Ocean Technology, 2004, 21:129121301.
- [3] 崔利民, 何宜军. X-波段船用雷达观测海洋动力环境要素仿真研究[J]. 海洋科学, 2009, 33(11): 73-77.
- [4] 王静, 文啸, 刘春霞, 等. 基于 X 波段雷达的台风浪观测分析[J]. 海洋预报, 2012, 29(5): 59-63.
- [5] ROARTY H, KOHUT J, GLENN S. Intercomparison of an ADCP, ADP, standard and long-range HF radar; influence of horizontal and vertical shear[C]//Current Measurement-Technology, Proceedings of the IEEE/OES Seventh Working Conference. San Diego, Calif, 2003: 75-78.
- [6] YOSHIKAWA Y, MATSUNO T, MALUBAYASHI K, et al. A surface velocity spiral observed with ADCP and HF radar in the Tsushima strait [J]. Journal of Geophysical Research, 2007, 112(6): C06022.
- [7] LONG R, BARRICK D. Surface current measurements during safe seas 2006: Comparison and validation of measurements from high-frequency radar and the quick release estuarine buoy[C]//Oceans 2007, Proceedings of the MTS/IEEE OCEANS'07 Conference. Van couver, 2007: 1-7.
- [8] CARTER O, PETER W, LIBE W, et al. Interpretation of coastal HF radar. derived surface currents with high resolution drifter data[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2007, 24(4): 666-680.
- [9] 文必洋, 李自立, 周浩, 等. 便携式高频地波雷达东海洋山海域探测深度试验[J]. 电子与信息学报, 2010, 32(4): 998-1002.
- [10] 吴雄斌, 李伦, 李炎, 等. 高频地波雷达海面有效波高探测实验研究[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(2): 210-216.