

X 波段雷达测波系统比测方法的研究^{*}

——基于东海区海洋站比测数据分析

耿立佳,赵秀玲,王栋,何勇,卞崎洋

(国家海洋局东海标准计量中心 上海 201306)

摘要:目前我国已经进口了 X 波段雷达,大多数使用的 WAVEX 海事雷达海浪数据采集系统。利用 X 波段雷达开发监测海浪的波高、波长、波向与波周期等相关参数已经取得初步成果。同时,在 X 波段雷达数据质量控制以及将雷达数据与海洋动力学模型进行同化方面积累了一定的经验,但距离制定明确的应用规范还存在较大差距。文章试图通过对东海区 A、B 两个海洋站 X 波段雷达与波浪浮标、人工观测数据等比测数据的分析,得出比测方法中对比仪器选择、环境因素、海况等方面的要求,以得到更为准确的比测结果。

关键词:X 波段雷达;波浪浮标;比测数据;比测方法

中图分类号:P71;P715.4

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2015)08-0069-04

X 波段雷达是一种具有超视距、大范围、全天候以及低成本等优点的新兴海洋监测技术。在 20 世纪 80 年代末,挪威 D0243 公司开始利用 Young、Rosenihal 和 Ziemer 原理构思船用雷达波浪监测仪,于 1999 年成功研制了 WAVEX 系统^[1]。目前,我国装备的 X 波段雷达大多使用的是该公司的 WAVEX 海事雷达海浪数据采集系统。

国内外利用 X 波段雷达开发监测海浪的波高、波长、波向与波周期,海流场的流速和流向以及周围风场的相关参数已经取得初步成果。同时,在 X 波段雷达数据质量控制以及将雷达数据与海洋动力学模型进行同化方面积累了一定的经验,但距离制定明确的应用规范还存在较大差距。对 X 波段雷达观测系统进行比测,旨在验证 X 波段雷达观测系观测结果的准确性,检验其各项技术指标能否满足《海滨观测规范》(GB/T14914-2006)所要求的业务化海洋观测工作,确保 X 波段雷达观测系统的观测结果能准确反映所测海域观测要素的真实变化情况,为 X 波雷达业务化运行提供参考依据。本研究通过对东海区 A、B 两个海洋站比测情况的分析,试图找到更为有效的比测方法和相关条件。

1 比测方法

1.1 比测设备

目前,国内进行波浪数据采集主要通过 X 波段雷达、SZF 型波浪浮标、人工观测等方式,具体参数见表 1。

表 1 3 种比测仪器有关技术指标

仪器名称	有效波高/m	有效波周期/s	波向/(°)
X 波段雷达 (WaveX)	范围 0.5~20	3~30	0~360
	分辨率 0.1	0.1	1
测波系统	精度±0.5(≤5 m)	±0.5	±5
	±10%(>5 m)		
波浪浮标 (SZF2-1 型)	范围 0.3~20	3~20	0~360
	分辨率—	—	—
	精度±10	±0.5	±10
人工观测	范围 0.3~20	2~20	0~360
	分辨率 0.1	0.1	1
	精度±0.5(≤5 m)	±0.5	±10
	±10%(>5m)		

X 波段雷达——1 台测量海面波浪各种参数的设备,它的数据分析是建立在标准的 X 波段(3 cm)海事雷达提供的数字化海面杂乱图像基

* 基金项目:国家海洋局预报减灾司项目“海洋防灾减灾”。

础之上的。先在指定时间范围内采集的海面杂乱数据,然后对这些参数数据进行计算。经过计算所得的海浪参数是指采集时间内主要海浪参数的平均值(图 1)。



图 1 X 波段雷达

SZF 型波浪浮标——由中国海洋大学自主研发,是一种无人值守的、可定点、定时自动对波浪要素进行测量的小型浮标系统。主要用于沿岸海洋环境监测站常规波浪观测工作和惊骇环境工程的监测工作,可测量海浪的波高、周期、波向的基本设备^[2]。目前已广泛应用于我国的近海海洋监测站、近海海洋工程测量及海洋调查考察等领域,得到广泛认可(图 2)。



图 2 SZF 型波浪浮标

人工观测——由人工肉眼或借助简易设备对波浪要素的分布状况和变化规律进行的观测。包括:大面观测,在调查海区布设若干观测站,每隔一定时间在各观测站观测一次;断面观测,在调查海区布设几条有代表性的若干观测站组成的断面,每隔一定时间在各观测断面上巡回观测

一次;连续观测,在调查海区布设若干有代表性的观测站,按任务要求在每一观测站上进行一昼夜以上的连续观测。

1.2 比测要素

A 站、B 站比测要素为:有效波高、有效波周期和波向。

1.3 数据处理方法

比测数据参照《海洋环境监测站自动监测仪器现场比对方法》中给出的方法进行处理。具体的方法如下。

(1)同一坐标系内绘制和的过程曲线图。其中和为 X 波段雷达测波系统和比测设备同步观测所获得的某个观测要素的数据。

(2)误差计算:

① 计算比对数据的误差

$$\Delta X_i = X_{1i} - X_{2i}$$

式中: X_{1i} 和 X_{2i} 分别为 X 波段雷达测波系统和比测设备同步或准同步观测所获得的某个观测要素的第 i 个数据。

② 计算误差的平均值

$$\overline{\Delta X_i} = 1/n \sum \Delta X_i$$

式中: n 为观测数据个数。

③ 计算误差的极值(ΔX)_{max}

$$(\Delta X)_{\max} = \max\{|\Delta X_i|\}$$

④ 计算误差的均方差

$$S_{\Delta X} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (\Delta X_i - \overline{\Delta X_i})^2}$$

式中: \bar{X}_1 和 \bar{X}_2 分别为 X 波段雷达测波系统和比测设备同步或准同步观测所获得的某个观测要素数据的平均值。

(3)计算 X_1 和 X_2 的相关系数

$$\gamma_{X_1 X_2} = \frac{\sum_1^n (X_{1i} - \bar{X}_1)(X_{2i} - \bar{X}_2)}{\sqrt{\sum_1^n (X_{1i} - \bar{X}_1)^2 \sum_1^n (X_{2i} - \bar{X}_2)^2}}$$

1.4 比测结果评价标准

《海洋环境监测站自动监测仪器现场比对方法》中提出了比测结果判别的 3 个标准,按顺序分别为:① 过程曲线趋势的一致性;② 相关系数大于等于 0.90 ($\gamma_{X_1 X_2} \geq 0.90$);③ 误差极值小于等于 3 倍均方差 [$(\Delta X)_{\max} \leq 3S_{\Delta X}$]。下面也主要参照这几个标准对结果进行分析。

2 比测分析

A 站比测时间为 21 d,每整点比测。期间有 5 次天气过程:6 日受冷空气影响,台湾海峡有大浪过程;8-9 日受冷空气影响,台湾海峡有大到巨浪过程;10-13 日分别有冷空气影响,台湾海峡有大浪过程;18-20 日受冷空气影响,台湾海峡有大到巨浪过程;22-25 日受冷空气影响,台湾海峡有大到巨浪过程。X 波段雷达与波浪浮标有效波高、平均周期和波向的过程曲线如图 3 所示。

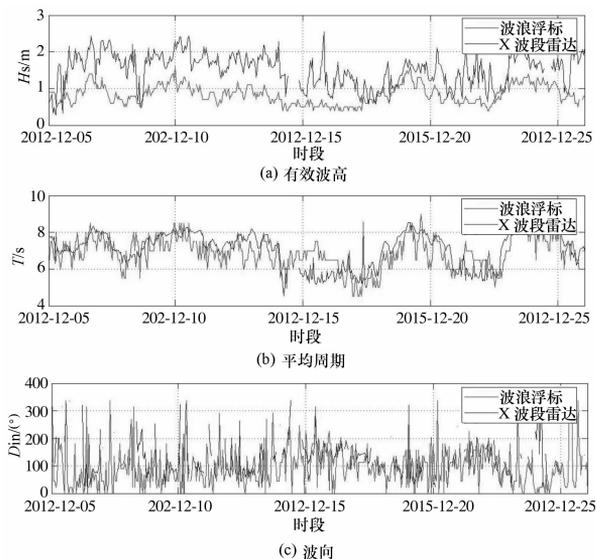


图 3 X 波段雷达与波浪浮标曲线图(A 站)

分别计算 X 波段雷达系统与波浪浮标间绝对误差的平均值、均方根、最大值以及相关系数(表 2)。

表 2 X 波段雷达与波浪浮标数据误差及相关数据表(A 站)

指标	有效波高/m	有效波周期/s
绝对误差	0.7	0.6
均方根误差	0.8	0.8
最大误差	2.1	3.1
相关系数	0.44	0.65

从表 2 和图 3 可以看出,一是 X 波段雷达与波浪浮标都能反映有效波高的变化过程,但 X 波段雷达的有效波高总体上比波浪浮标偏大,均方根误差 0.8 m,最大绝对误差为 2.1 m;二是 X 波段雷达与波浪浮标有效波周期结果都基本能反

映出平均周期的变化过程,但 X 波段雷达的有效波高周期总体上比波浪浮标偏大,均方根误差 0.8 s,最大绝对误差为 3.1 s;三是 X 波段雷达与波浪浮标的波向结果基本也能反映出波向的变化过程。

B 站比测时间为 21 d,观测数据记录时次为每日 8 时、11 时、14 时、17 时。期间有 6 次天气过程:1-3 日,受冷空气和 1329 号台风“罗莎”外围环流的共同影响,台湾海峡南部出现巨浪过程;4-5 日,受弱冷空气南下影响,台湾海峡出现一次大浪过程;8-10 日,受 1330 号台风“海燕”的影响,台湾海峡出现中到大浪过程;11-14 日,受冷空气南下影响,台湾海峡出现大到巨浪过程;15-16 日,受 1331 号热带低压“杨柳”的影响,台湾海峡出现中到大浪过程;17-18 日,受冷空气影响,台湾海峡出现大浪以上过程。X 波段雷达与人工观测有效波高、平均周期和波向的过程曲线见图 4 至图 6。

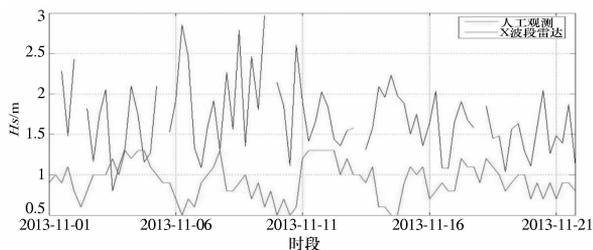


图 4 有效波高观测数据的比对

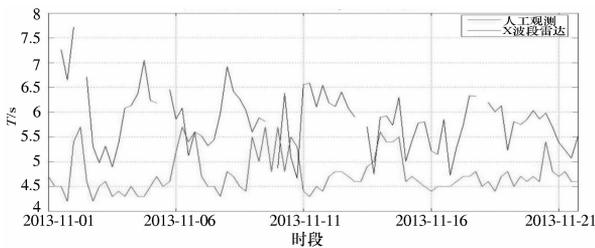


图 5 有效波周期观测数据的比对

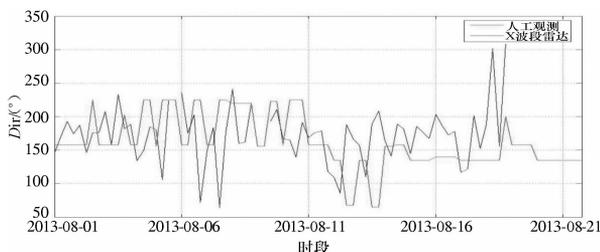


图 6 波向数据的比对

分别计算 X 波段雷达系统与人工观测间绝对误差的平均值、均方根、最大值以及相关系数(表 3)。

表 3 X 波段雷达与人工观测数据误差及相关数据表(B 站)

指标	有效波高/m	有效波周期/s	波向/(°)
绝对误差	2.1	3.7	171
均方根误差	2.9	4.0	93
最大误差	2.4	2.7	179
相关系数	0.35	0.12	0.10

从表 3 和图 4 至图 6 可以看出,① X 波段雷达测波系统及人工观测的有效波高数据符合的不是很好,X 波段雷达数据与人工观测数据相比整体偏大,但两者都反映出了波高的变化趋势,平均误差也不是很大。② X 波段雷达测波系统及人工观测的平均波周期数据符合的不是很好,X 波段雷达数据与人工观测数据相比整体偏大,

但两者都反映出了周期的变化趋势,平均误差也不是很大。③ X 波段雷达测波系统及人工观测的平均波向数据符合的不是很好,但两者都反映出了波向的变化趋势,平均误差也不是很大。

3 结论

通过对东海区 A、B 两个海洋站的比测资料分析,初步得出以下结论:① 比测周期内需要有足够的风和波高,风速或波高较小时,会对 X 波段雷达观测系统的测量精度带来较大的影响。② 人工观测产生的误差较大,比测仪器宜选择业内广泛认可的波浪浮标,以提高数据的准确度和可信度,为 X 波段雷达业务化运行提供参考依据。③ 根据 X 波段雷达测波系统的测试原理及比测数据所反映的情况,比测过程中需避免雨、雪、雾等对比测结果有较大影响的天气条件。④ 由于 X 波段雷达测波系统受地形、环境等因素影响较大,比测进行前需根据实地情况对工程参数进行设置和调整。

参考文献

- [1] 齐占辉,宋占杰,张锁平,等. X 波段雷达在海面动力环境监测中的应用研究[J]. 海洋技术,2009,28(1):24-28.
- [2] 唐原广,王金平. SZF 波浪浮标系统[J]. 海洋技术,2008,27(2):31-33.