

基于雷达水位计的海浪波高信息提取算法及其精度评价

范陈清, 张 杰, 王际朝, 万 勇, 孟俊敏

(国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘要: 为了证明雷达水位计波高测量的有效性, 基于 PY30-1 石油平台上的雷达水位计海面高度变化观测数据, 开展了雷达水位计海浪波高信息提取算法研究。基于所发展算法提取海浪波高信息, 与同一平台上的 C 波段测波雷达观测数据及平台附近的浮标观测数据进行了比对分析。结果表明, 雷达水位计数据提取的海面波高数据与 C 波段测波雷达及浮标测量数据一致性较好, 二者标准偏差分别为 0.006 和 0.008 m, 均方根误差(RMS)分别为 0.55 和 0.60 m。波高小于 4 m 时一致性优于波高大于 4 m 的一致性, 波高大于 4 m 时水位计提取的波高偏小。因此, 雷达水位计可作为波高观测的重要数据源之一。

关键词: 水位计; 波浪; 测波雷达; 浮标

中图分类号: P717 文献标识码: A
doi: 10.11759/hyxx20121127001

文章编号: 1000-3096(2014)06-0047-05

海浪是海岸工程建设中海洋环境观测的重要动力参数, 对航运、以及海上石油平台和港口的安全都具有非常重要的意义^[1]。目前, 波浪观测主要分为接触式和非接触式测量。接触式波浪测量设备主要包括水下压力式、水面浮筒式、水上测波杆、波浪浮标和声学式几种传统测量技术^[2-3], 非接触式传感器主要包括 SAR、X 波段雷达和 C 波段雷达等。海上固定平台的波浪测量主要利用激光和雷达等技术手段进行^[3]。

固定平台上的雷达水位计通常用于测量水位变化信息, 随着水位计时间分辨率的提高, 使得通过水位变化信息获取波高信息成为可能。本文基于雷达水位计获取的海面高度变化信息开展了海浪信息提取。

1 观测设备的布放与数据获取

本文所使用的观测设备主要有 114.941°E、20.2451°N 的 PY30-1 石油平台上安装的挪威 MIROS 公司的 SM-050 MKIII 型 C 波段测波雷达, SM094 型雷达水位计以及布放于平台附近的荷兰 Datawell 生产的 MKIII 型波浪骑士浮标。其中, SM094 型雷达水位计数据用于提取海面波高信息, SM-050MKIII 型 C 波段测波雷达以及 MKIII 型波浪骑士浮标用于对提取的海面波高的精度进行评价。

挪威 MIROS 公司的 SM-050 MKIII 型 C 波段测波雷达是一种直接传感器, 其通过测量海水微粒的运动速度来计算海浪高度。因此, SM-050MKIII 测波雷达可以获得精确的海面波高值。其设定每 2 min 测量一组有

效波高数据。测波雷达主要技术指标如表 1 所示。

表 1 SM-050 MKIII 型 C 波段测波雷达主要技术指标
Tab.1 The main specifications of C-band SM-050 MKIII wave radar

工作参数	技术指标
工作频率	5.8GHz
脉冲带宽	20MHz
天线束宽	24 束
天线增益	18dB
有效波高	测量范围: 0 ~ 30 m 测量精度: $\pm 5\%$ 或 0.2 m(取大者) 分辨率: 0.1 m

荷兰 Datawell 的 MKIII 型波浪骑士浮标是目前波高和波向测量的世界标准。其主要通过加速度计计算海面有效波高。在本次应用中设定浮标提供每小时第 10 分钟测量的有效波高数据, 即每小时提供一个测量数据。波浪骑士浮标主要技术指标如表 2 所示。

挪威 MIROS 公司的 SM094 型雷达水位计为垂直下视雷达水位计, 通过传感器垂直向海面发射一束脉冲信号, 接收海面反射波, 然后计算反射波到达的时间延迟, 进而获取水位计到海面的距离。设定每秒提供一组测量数据。其主要技术指标参见表 3。

收稿日期: 2012-11-27; 修回日期: 2014-05-22
基金项目: 国家高技术研究发展计划(2008AA09A403); 国家海洋公益性科研专项(201105032-1)
作者简介: 范陈清(1983-), 男, 江苏海门人, 研究实习员, 硕士, 主要从事海洋遥感研究, 电话: 0532-88967394, E-mail: fanchenqing@fio.org.cn; 孟俊敏, 通信作者, 男, 研究员, E-mail: mengjm@fio.org.cn

表2 荷兰 Datawell MKIII 型波浪骑士浮标主要技术指标

Tab.2 The main specifications of Datawell MKIII wave-rider buoy

工作参数	技术指标
有效波高	测量范围: ± 20 m 测量精度: 0.5% 分辨率: 1 cm

表3 SM094 型雷达水位计主要技术指标

Tab.3 The main specifications of SM094 radar water gauge

工作参数	技术指标
微波发射器频率	9.4~9.8 GHz
微波发射器输出功率	0.25 mW
窄波束天线束宽	5°
窄波束天线增益	> 24 dB
窄波束天线量程	3~85 m
单次测量误差	< 1 cm
平均测量误差	< 1 mm

雷达水位计获取的数据包括观测时间、水位计离海面的瞬时高度以及 1 s 平均高度。由于 1 s 平均高度过滤了大量海面波动信息, 从而为有效提取海面波高信息, 本文使用了水位计离海面的瞬时高度。

2 雷达水位计波高信息提取算法

雷达水位计安装于平台的固定高度上, 由于其离基准面的高度未知, 因此, 雷达水位计测量的是海面高度的相对瞬时变化。基于雷达水位计的高时间分辨率, 其观测的海面高度瞬时变化包含了海面的波高信息, 从而通过分析海面高度的相对变化可以提取海面波高信息。

图 1 给出了 2012 年 3 月 15 日连续 2 min 的瞬时海面高度观测值, 该图表明, 雷达水位计测量的海面瞬时变化明显能够反映海面波高变化信息。

雷达水位计设定每小时前五分钟工作, 每秒以 10 Hz 频率获取海面高度值, 但每秒只提供两种数据, 一是单个瞬时值, 另一个是 1 s 平均值。提取方法主要包括以下几个步骤:

(1) 数据质量控制

由于雷达水位计主要用于测量水位变化, 其提供的 1 s 平均值对数据进行了平滑, 因此, 该平均值去除了大量海浪信息。为了通过海面高度变化提取波高值, 本文采用了其提供的瞬时水位值。并对明显异常的数据进行了剔除。

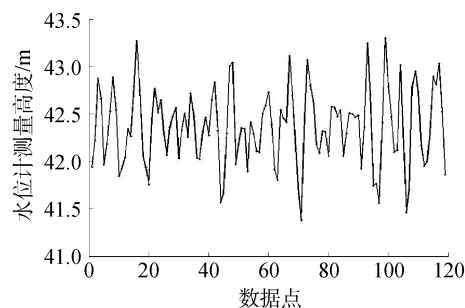


图1 2012年3月15日13时雷达水位计原始观测数据图

Fig.1 The raw data of radar water gauge achieved on March 15, 2012

(2) 计算周期确定

通过波浪骑士浮标数据可以发现, 测量时间内海浪周期在 15 s 左右, 同时考虑到风浪的周期通常为 0.5~25 s^[4]。因此, 本文选定计算周期为 1 min, 这里可以保证在采样过程中至少存在一个完整的波峰和波谷信息。

(3) 潮汐订正

由于雷达水位计测量的水位高度变化中包含有潮汐信息, 因此, 考虑在水位测量数据进行潮汐订正。基于选定的 1 min 计算周期, 对占主导的潮汐分量 1 min 的变化进行了计算, 其变化值约为几厘米, 这对于波高测量误差而言, 可以忽略不计。

(4) 波高值计算

本方法中在每分钟内, 取瞬时值的最大值和最小值, 两者的差作为这一分钟观测的波高值。

为了确定该方法获取的波高值接近真实有效波高, 本文分别利用小波高和大波高情况下的连续 5 min 海面高度变化数据对波高分布进行统计。通过对 5 min 内每个相邻最大值和最小值计算波高值, 并根据波高值的大小排序获取前 1/3 大波波高值, 求取均值后作为有效波高值。

图 2 给出了波高统计情况。小波高情况下, 取前 1/3 大波平均后获取的有效波高值为 2.07 m, 以上方法计算值为 2.39 m。大波高情况下, 取前 1/3 大波平均后获取的有效波高值为 2.51 m, 以上方法计算值为 2.93 m。结果表明, 本文采用的方法计算的波高值相对统计方法偏高约 15%, 该偏差在可接受的范围内。因此, 可认为本文所采取方法获取的波高值为海面有效波高。

3 雷达水位计波高信息提取算法精度评价

分别以春季和夏季数据为例, 将 2012 年 3 月与

6 月的雷达水位计数据提取的波高信息与 C 波段测波雷达波高数据以及浮标波高数据对提取的波浪信

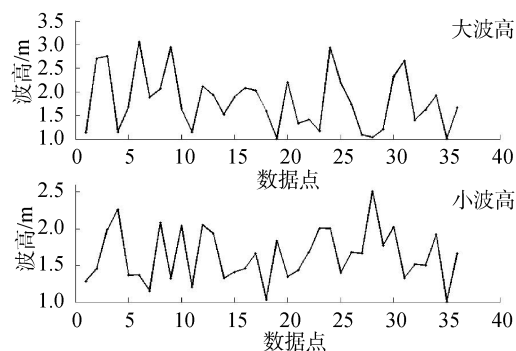


图2 小波高和大波高情况下波高统计图

Fig.2 The statistics of low and high wave height

息进行比较。

C 波段测波雷达可提供海浪的有效波高和最大波高值, 其每 2 min 提供一组数据。为保证水位计观测数据与 C 波段测波雷达观测数据精确匹配, 选取与水位计同步观测时间的 C 波段测波雷达数据。

浮标可提供海浪的有效波高数据, 其每一小时提供一组数据。因此, 水位计提取的波高数据与浮标观测的有效波高数据每一小时匹配一组数据。

由图 3 可以看出, 雷达水位计提取的波高值在 1~3.5 m, 这与孙湘平^[4]指出的南海北部月平均波高在 1.2~2.5 m 相吻合。

可以看出, 雷达水位计数据提取的波高信息与 C 波段测波雷达数据以及浮标数据在 4 m 以下时吻合较

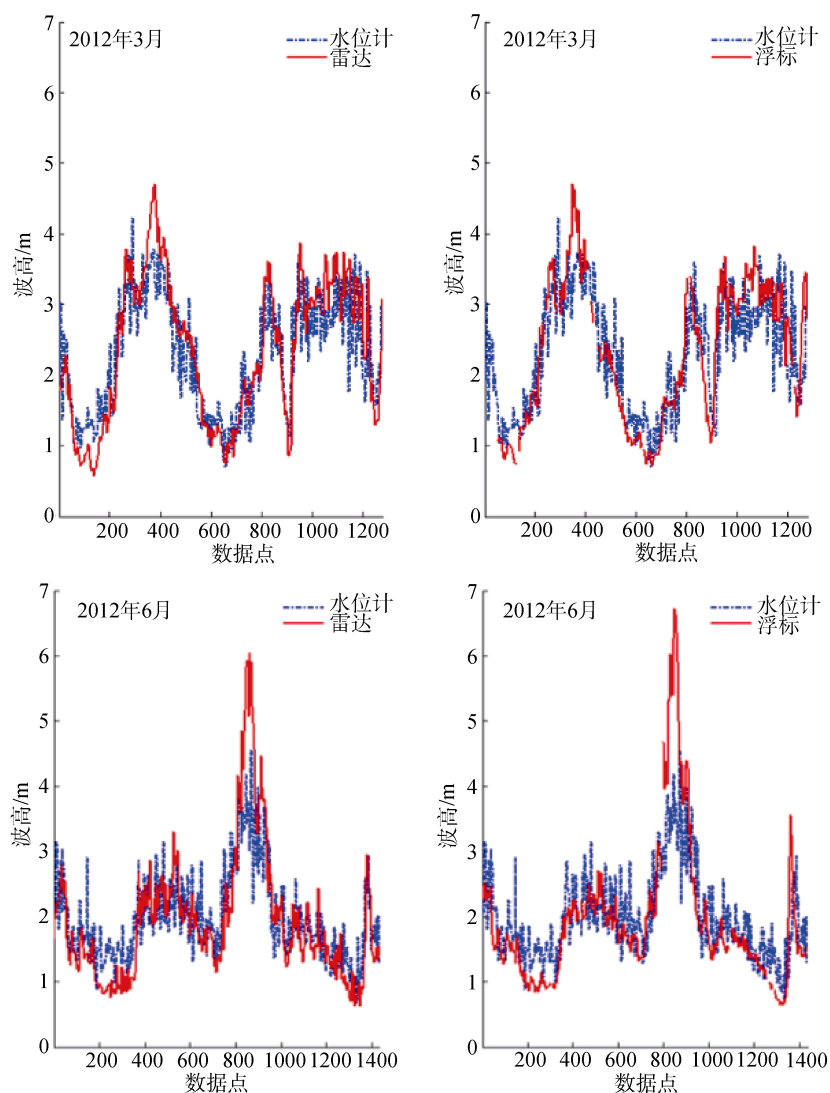


图3 2012年3月和6月雷达水位计提取的波高与测波雷达及浮标波高对比图

Fig.3 Comparison of wave height obtained by radar wave gauge and wave radar, buoy achieved in March and June, of 2012, respectively

好, 在波高高于 4 m 时, 提取的波高值偏小。这可能是该型雷达水位计用于提取波高值的局限性。因为雷达水位计设计波束宽度为 5° , 其离海面距离约为 40 m 左右, 则其在地面形成的足印直径约为 7 m。因此, 随海面波高增大, 波谷位置变深, 导致雷达水位计在观测波谷时更容易观测到波峰至波谷之间的部分, 从而导致波谷测量值变小, 进而影响了提取的波高值。这可能就是提取的 4 m 以上波高不准确的原因。

通过雷达水位计提取的波高信息与浮标的比对可以看出, 浮标观测的波高值在时间上较提取的波

高值超前, 而该现象在 C 波段测波雷达中并未发现。这可能是由于雷达水位计和 C 波段测波雷达观测的是同一区域, 而浮标布放位置离该区域约几公里远, 从而导致浮标观测的波高在时间上要超前雷达水位计与 C 波段测波雷达观测结果。

图 4 分别给出了 2012 年 3 月和 6 月雷达水位计提取的波高与 C 波段测波雷达以及浮标观测波高比对的散点图。

由图 4 也可以看出, 在波高小于 4 m 的情形下, 雷达水位计提取的波高值与 C 波段雷达以及浮标观

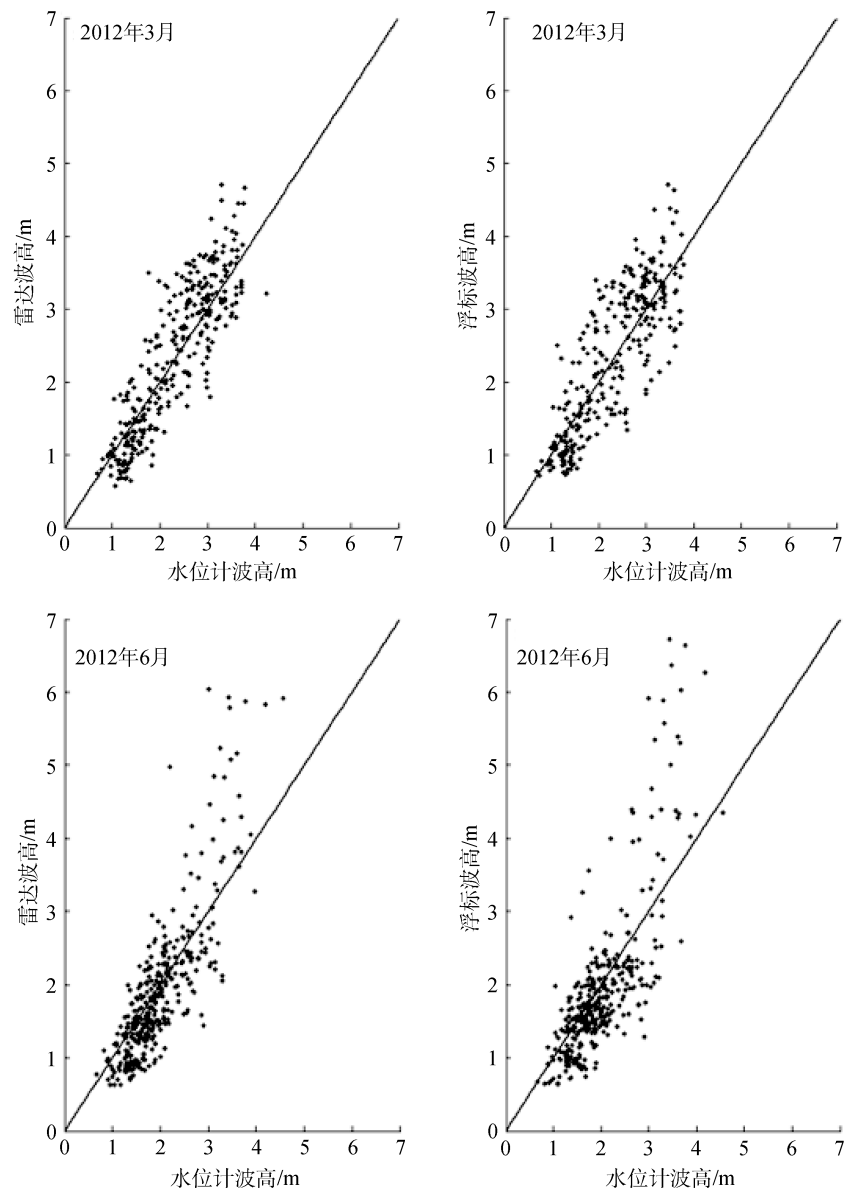


图 4 2012 年 3 月和 6 月雷达水位计提取的波高与测波雷达及浮标波高散点图

Fig.4 Comparison of scatter diagram of wave height obtained by radar water gauge and wave radar, buoy achieved in March and June, of 2012, respectively

测的波高较为一致。经比对, 雷达水位计数据提取的波高与 C 波段测波雷达观测的波高之间标准偏差为 0.006 m, RMS 为 0.55 m, 与浮标观测的波高相比, 标准偏差为 0.008 m, RMS 为 0.60 m。与浮标观测值的 RMS 要比 C 波段测波雷达大, 这可能与浮标观测的波高值在时间上较为超前有关。当只比较 4 m 以下波高时, 其与 C 波段测波雷达以及浮标相比的标准偏差分别为 0.046 m 和 0.051 m, RMS 分别为 0.47 m 和 0.51 m。其结果明显优于总体情况的比对结果。

4 结论与讨论

本文基于安装在 PY30-1 石油平台上的雷达水位计观测的水位数据, 提取了海面波高信息, 并以春季和夏季数据为例, 分别将 2012 年 3 月和 6 月提取的波高数据与 C 波段测波雷达数据以及浮标数据进行了比对。结果表明, 基于雷达水位计数据提取的海

面波高数据与 C 波段测波雷达及浮标测量数据在 4 m 以下波高时一致性较好, 4 m 以上波高时, 本文获取的波高偏小。结果与 C 波段测波雷达和浮标相比, 标准偏差分别为 0.006 和 0.008 m, RMS 分别为 0.55 和 0.60 m。只进行 4 m 以下波高比对时, 标准偏差分别为 0.046 和 0.051 m, RMS 分别为 0.47 和 0.51 m。

参考文献:

- [1] 段华敏, 王剑. 基于 X 波段雷达海面波高估计的改进方法[J]. 海洋通报, 2009, 28(2): 103-108.
- [2] JTJ/T 277-2006. 水运工程波浪观测和分析技术规程[S].
- [3] 王静, 唐军武, 冯林强, 等. 海上固定平台雷达测波技术及典型数据处理算法[J]. 海洋技术, 2012, 31 (2): 49-53.
- [4] 孙湘平. 中国近海区域海洋[M]. 北京: 海洋出版社, 2008.

Extraction algorithm and accuracy evaluation of ocean wave height based on radar water gauge measurement

FAN Chen-qing, ZHANG Jie, WANG Ji-chao, WAN Yong, MENG Jun-min

(The First Institute of Oceanography, State Ocean Administration, Qingdao 266061, China)

Received: Nov., 27, 2012

Key words: water gauge; ocean wave; wave observation radar; buoy

Abstract: To verify the effectiveness of wave height measured by radar water gauge. Herein, the ocean wave height extraction algorithm by radar water gauge was developed based on the sea surface height variation data observed by radar water gauge installed on the PY30-1 oil platform. Ocean wave height data extracted by the presented method were compared with the data from C-band wave radar installed on the same platform and the buoy located close to the platform. The results show that the sea surface wave height from the radar water gauge was consistent with that observed by C-band wave radar and buoy. The standard deviation was 0.006 m and 0.008 m, and the RMS was 0.55 m and 0.60 m, respectively. The consistence of wave height that less than 4 meters is better than that of the wave height more than 4 m, and the wave height extracted by radar water gauge was lower when the real wave height was higher than 4 m. Hence, the radar water gauge is one of the important techniques for wave height measurement.

(本文编辑: 刘珊珊 李晓燕)