

基于动态测波的潜艇测量海浪波高方法研究

秦亮亮

中国人民解放军91550部队,大连 116023

摘要 采用声学测波仪测量海浪波高是潜艇获取海面气象信息的主要手段。基于运动状态下潜艇测波环境复杂,影响因素较多,通过对水下测波工作原理和测波环境分析,运用海浪谱理论,对运动状态潜艇测波误差的影响因素逐一分析,提出了基于动态测波的潜艇测量海浪波高方法,并通过仿真实验进行了验证。

关键词 潜艇;水下测波;海浪谱;测波误差

潜艇获取海浪波高信息有多种渠道,如在水面接收定时发布的气象预报和气象传真图或通过实际观测得到估计的气象要素等,但由于海洋气象的预报区域大、周期长,无法得到潜艇所在位置的实时海浪波高信息。目前,潜艇从水下获取海面波高信息的手段较少,较为常见的是采用声学测波仪测量海浪波面位移,对得到的原始数据进行去倾预处理,再进行能谱估计等处理,以得到波高信息。

潜艇在悬浮静止状态且深度不大时,采用声学测波仪测量海浪波高信息时,影响测波环境的因素少,测量值与实际值误差较小,精度一般满足要求。而潜艇在运动状态时,受测波记录点随机动态变化以及运动坐标系的海浪谱分析等复杂因素影响,采用声学测波仪对波面高度进行测量以获取海浪信息时,所得测量值与实际值相比往往误差较大。通过理论分析和仿真及实验验证,对潜艇测波精度的影响因素进行分析,确定影响水下测波精度的主要因素,为提高测波精度,进而对现役测波装备的改进提供理论依据^[1]。

1 声学测波仪工作原理

1.1 潜深的测量原理

通过声学换能器向海面发射测深声脉冲,测出脉

冲从发射开始经海面反射后返回并被接收到所需时间 t ,用式(1)求出航行器的潜深^[2]。

$$s = \frac{1}{2} \bar{c} \cdot t \quad (1)$$

1.2 测量海况工作原理

根据测深的原理,重复测量 N 次,可以收到从波浪各点处(波峰、波谷及过零点等)反射回来的回波脉冲,则可得到 N 个包括波浪起伏在内的“潜深”数据 ds_i ($i=1, 2, \dots, N$)。这样就求得距“平均海面”的距离和波浪波形的方差:

$$E\{ds\} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ds_i \quad (2)$$

$$\text{Var}\{ds\} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ds_i^2 - \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ds_i \right]^2 \quad (3)$$

根据波浪的有效波高(1/3大波的平均波高)定义 $H_{1/3} = 4.004 \sqrt{\text{Var}\{ds\}}$ 求得的 $H_{1/3}$ 值,查表中国规定的海况等级,即可得到该波高值所对应的海况级。

2 测波误差分析

海浪的随机运动一般由海浪谱来描述,而海浪谱理论基于静止坐标系,由此相应的海浪观测和分析都是相对于地球静止坐标系而言。但潜艇在海洋中航

收稿日期:2017-09-01;修回日期:2018-01-02

作者简介:秦亮亮,工程师,研究方向为通信工程,电子信箱:excellent2008@163.com

引用格式:秦亮亮. 基于动态测波的潜艇测量海浪波高方法研究[J]. 科技导报, 2018, 36(20): 89-91. doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.20.013

行,相对于地球静止坐标系,潜艇水下测波是在运动的三维坐标系下感知海浪的信息。因此,运用静止坐标系海浪谱理论进行海浪观测分析,得出的海浪数据与实际的海浪数据之间必然存在误差。从这个角度看,运动坐标系与传统静止坐标系观测和分析海浪的区别主要体现在以下3个方面。

- 1) 波面记录不是同一位置点。
- 2) 运动坐标系中海浪谱。
- 3) 测距误差对观测结果的影响。

2.1 波面记录位置点影响分析

对于观测点不在同一位置点的区别,因为潜艇在测波过程中航行的距离相对于风区而言是一个微小的量级,在这个距离范围内海浪波动所致能量基本相同,可以认为观测区内各点海浪波动所致能量相同。因而,由此产生的测量误差可以忽略,其对测波精度没有影响^[3]。

2.2 运动坐标系中的海浪谱分析

运动坐标系中的海浪谱分析,可将坐标系的运动分解为水平面和垂直面内运动进行研究。

2.2.1 水平面内的海浪观测谱分析

对于水平面内的海浪观测谱,研究认为运动坐标系中的海浪频谱与静止坐标系中的海浪方向谱有一定的相关性,即

$$S'(\omega') = \frac{S(\omega)}{|1 - 2\omega U \cos(\theta_0 - \varphi)/g|} \quad (4)$$

式中, $S'(\omega')$ 为运动坐标系中的海浪方向谱, $S(\omega)$ 为静止坐标系中的海浪方向谱, $U \cos(\theta_0 - \varphi)$ 为水平运动在水波传播方向上的速度分量^[4]。

静止坐标系中的海浪频谱采用文氏谱,对文氏谱采用不同的航速进行仿真,结果如图1所示。

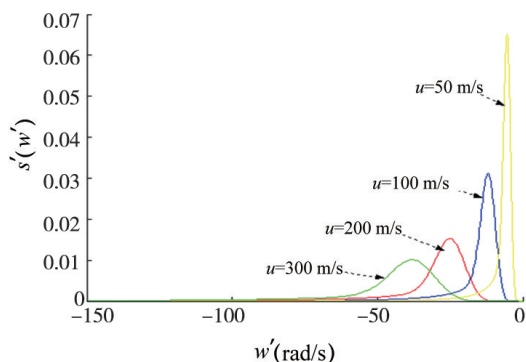


图1 运动坐标系中的海浪观测谱

从图1图谱形,可得出如下结果。

1) 潜艇在水平面内运动时,观测谱的零阶矩不随坐标系运动方向与波向之间夹角的变化而发生变化,也不随坐标系运动的速度变化而发生变化,即观测到的海浪能量不变。

2) 随着运动速度的增大(速度大于一定值后),运动坐标系中海浪谱的峰频向高频移动,频谱分布变宽,幅值变小。

因此可以认为,潜艇在水平面内的运动对海况等级的判定没有影响。

2.2.2 垂直面内的海浪观测谱分析

在垂直面内运动坐标系下观测波面的变化,可用方程表示为

$$\xi(t) = \xi_0(t) + \delta(t) \quad (5)$$

式中, ξ 为运动坐标系下观测到的波面起伏,它分为两部分,一是静止坐标系内观测到的波浪起伏 ξ_0 ,另一则是坐标系在垂直面内的运动 δ 。坐标系的运动状态虽为随机,可确定的是坐标系的运动周期较海浪周期要长许多。

根据周期图法对海浪的频谱进行估计,其谱可表示为

$$S(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2\pi T} |F(\omega)|^2 \quad (6)$$

其中

$$F(\omega) = \int_0^T \xi(t) e^{-i\omega t} dt = \int_0^T [\xi_0(t) + \delta(t)] e^{-i\omega t} dt = F_0(\omega) + F_\delta(\omega)$$

实测谱估计的公式为

$$S(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2\pi T} |F_0(\omega) + F_\delta(\omega)|^2 \quad (7)$$

$$S_0(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2\pi T} |F_0(\omega)|^2 \quad (8)$$

比较式(7)和(8)两式之间的关系,单纯从公式上看很难分辨出两者之间的大小。研究人员曾对此进行了专题研究,并在风-浪-流水槽实验室进行了专项水槽实验,对水槽实验所得数据进行分析,可得到如下结论。

1) 在垂直面内运动的坐标系观测到的海浪谱的零阶矩变化较大,运动坐标系中的海浪谱的零阶矩大于静止坐标系。

2) 坐标系的垂直运动对谱的零阶矩的贡献主要在低频部分。

基于上述结论,鉴于海浪的中心频率与潜艇坐标系运动的频率相差大,因此潜艇运动坐标系下观测谱

的零阶矩明显大于静止坐标系下。此结论与实际应用中出现的测波数值偏大现象是一致的。

2.3 测距误差分析

测深仪的测距误差主要源于测量仪器固有误差和测距时换能器的水平程度和波浪破碎等外界条件。测深仪虽进行声速修正,但外界条件引起的测距误差仍然无法消除。

假定测距误差是随机的,且服从正态分布,对测距误差的数学描述用白噪声表示。则潜艇上测量到的波面起伏表示为

$$\xi(t) = \xi_0(t) + \sigma W(t) \quad (9)$$

式中, ξ 为观测的波面起伏, ξ_0 为波面起伏的原始值, $W(t)$ 为标准高斯白噪声, σ 为常数项,表示仪器的标准误差。

则有

$$\begin{aligned} F(\omega) &= \int_0^T \xi(t) e^{-i\omega t} dt = \int_0^T [\xi_0(t) + \sigma W(t)] e^{-i\omega t} dt \\ &= F_0(\omega) + \sigma F_w(\omega) \end{aligned} \quad (10)$$

实测谱估计的式子为

$$\begin{aligned} S(\omega) &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2\pi T} |F_0(\omega) + \sigma F_w(\omega)|^2 \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2\pi T} |F_0(\omega)|^2 + \sigma^2 \end{aligned} \quad (11)$$

比较(10)和(11),两者很难从公式上分辨出大小。由水槽实验数据可得出以下3个结论。

1) 白噪声的频带布满了所有频段,在各频段的幅值没有明显差异。

2) 观测谱较标准谱,无论谱峰的幅值、频率以及谱的零阶矩差别不大,测距误差影响海浪谱的整个频段。

3) 测距误差对观测谱零阶矩的影响及误差的大小和海浪谱的截止频率有关。

3 结论

通过对基于运动潜艇的海浪观测谱的理论和实验数据仿真分析,可以得到如下结论:影响水下测波准确度的主要因素是潜艇在垂直面内的运动;另外,测距误差对观测结果虽然有一定的影响,但不是影响测波精度的主要因素。

因此,对潜艇声学测波仪进行改进,选用合适的滤波算法并选择适当的截止频率对测量的原始数据进行处理,可以消除因潜艇运动所产生的误差,并可减少测距误差所产生的测波误差,从而提高水下测波的精度。

参考文献(References)

- [1] 叶安乐,李凤岐.物理海洋学[M].青岛:青岛海洋大学出版社,1992.
- [2] 文圣常,余宙文.海浪理论与计算原理[M].北京:科学出版社,1984.
- [3] 徐德伦,于定勇.随机海浪理论[M].北京:高等教育出版社,2001.
- [4] 管长龙,梁楚进.论运动坐标系中的海浪谱[J].青岛海洋大学学报,1996,26(3):261-265.

Submarine measuring waving height methods based on dynamic wave-measuring

QIN Liangliang

No 91550 Unit of People's Liberation Army, Dalian 116023, China

Abstract Using the acoustic wave gauge to measure the wave height is the main means for the submarine to obtain the weather information of the sea. Concerning the complexity of the effecting factors on measuring the wave under the environment of submarine movement, this paper analyzes the working principle, environment of underwater wave and the influencing factors of wave error of submarine movement by using the theory of wave spectrum, gives out the methods of submarine measuring waving height based on dynamic wave-measuring and carries out the verifications by simulation experiment.

Keywords submarine; underwater wave-measuring; wave spectrum; wave error



(编辑 徐丽娇)