

雷达探测海浪及其方法的研究^①

朱守东

(江苏省连云港市气象局, 222001)

收稿日期 1991年3月20日

关键词 海浪, 雷达回波, 探测方法

提要 根据连云港 714 天气雷达(波长 10.6cm)探测到的海浪回波资料, 结合实测风浪资料, 分析了海浪回波特征, 得到了海浪回波最远距离与最大风速的相互关系换算方法。

利用海岸线上的天气雷达可以在不受地形、物体阻挡的方位中探测到海浪回波。探测结果证明, 海浪回波的强弱变化是随着海面风浪强弱变化而变化的。因此, 可以通过回波的强弱变化与风浪的对应程度得出两者之间的定量关系。

1 海浪回波的主要特征

对 186 次海浪回波资料分析表明, 海浪回波与其他降水回波明显不同。当天线的仰角放到 0°以下时, 屏显上就会发现由无数个亮点组成的扇形回波区。在近距离处由于雷达水平分辨率的影响, 较密集的亮点粘连成片, 远距离处由于雷达分辨率的影响较小, 可探测到许多不粘连的亮点。而降水回波生消变化大, 回波边缘大多破碎而不规则, 远处没有分散的亮点, 回波形状不呈扇形分布, 如 1990 年 4 月 7 日地面天气受低气压影响, 4 时开机探测到方位 345~+115°, 海上 50km 之内有许多互不粘连的亮点回波生成, 其它方位为地物回波。此时海上实测风速为 10m/s, 到 8 时再次开机探测时, 上述亮点回波已延伸到 75km, 50km 内的回波已粘连成片(图略), 50km 处可以看到许多互不相连的小亮点。此时海上风速已增强 18.6m/s, 50~60°有一条空隙, 是本站东北侧 10km 处的东西连

岛阻挡所致。

在高度显示器上的海波回波特征是: 当天线对准较强的海浪回波区进行高度显示时, 就会从屏幕上看到前部低、中间略高、后部低象梭子状的图形(图略)。近距离微小的亮点上下边粘连成片, 而远距离的小亮点上下不连续。发展强的海浪回波高显上有时还能观察到上下轻微的涨落现象。雷达能够探测到海浪, 是因为波浪溅起破碎的浪花对雷达波的散射所致。海浪回波的强度与风速有着一定的对应关系, 即风速愈大, 回波也就愈强。连云港 714 天气雷达架设在海拔 625m 的花果山上, 到目前为止, 探测到的海浪回波的最远距离为 97km(最远距离均是指到最远处的亮点)。从回波强度与风浪的对比分析看, 海面风速在 5~7 级, 海浪回波强度在 20~35dB; 风速在 8~9 级, 海浪回波强度在 45dB 以上。表 1 为风浪与回波强度范围的统计。从中可以看出风速愈大, 回波距离愈远, 波浪也愈大。

2 海浪回波强度、距离与风速的关系

^① 陈晓阳、嵇友武、史逸民、朱敏华同志参加了部分研究。

根据 Long (1975) 给出的适用于窄波束、低仰角条件下的海浪雷达回波方程:

$$Pr = \frac{PtG^2\lambda^2C\tau\varphi_A}{128\pi^3r^3}\sigma\sec\theta \quad (1)$$

表 1 风浪与回波强度范围统计*

Tab. 1 The statistical results of the wind, wave height and the intensity, range of the echo for a few cases

时间 (年.月.日) (时:分)	回波范围 (km)	强度 (dB)	风向风速 (m/s)	实测浪高 (m)
1990.6.8 9:20	78	35	N 22	2.0
1990.6.8 12:40	85	40	N 25	2.5
1990.6.9 8:20	50	20	NW 19	1.0
1990.6.19 20:00	50	10	SE 11	0.8
1990.11.8 8:00	60	20	NW 11	1.5
1990.11.8 20:00	70	30	NW 19	1.9
1990.11.9 8:00	90	40	N 15	3.2
1990.11.9 14:00	80	35	NNW 12	2.5
1990.11.20 8:00	85	35	N 19	2.6
1990.11.20 11:00	97	50	N 23	3.9
1990.11.30 12:00	85	40	N 16.7	3.0

*探测仰角皆为 -1° 。

式中 P_t 为雷达发射功率, G 为天线增益; λ 为雷达波长; C 为光速; r 为海浪回波到天线的距离; τ 为脉冲宽度; φ_A 为波束水平宽度; θ 为天线仰角。对于特定的雷达, P_t 、 G 、 C 、 τ 、 φ_A 都为常数。连云港 714 雷达探测海浪的仰角都在 0° 以下, 所以把 θ 取 0° , 这样 $\sec\theta = 1$, 引进常数 C' 得到:

$$C' = \frac{P_t G^2 \lambda^2 C \tau \varphi_A}{128 \pi^3} \quad (2)$$

式(1)就可写成:

$$Pr = C' \sigma / r^3 \quad (3)$$

代进最小可测功率 Pr_{min} 和中频衰减分贝数 N 得到:

$$Pr = Pr_{min} \cdot 10^{N/10} \quad (4)$$

将(4)代入(3)式, 并令 $B = Pr_{min}/C'$, 得到:

$$\sigma = Br^3 \cdot 10^{N/10} \quad (5)$$

可根据不同距离 r 处的海浪回波强度 N 求出单位面积上的后向散射 σ 值。已知不同型号的雷达参数, 利用上式就可计算出不同距离回波强度下的 σ 值, 制作成表, 探测海浪回波由 σ 值查出与风浪的对应关系。

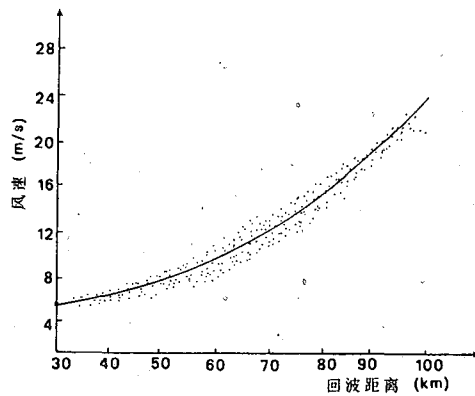


图 1 海浪回波的最远距离与风速的关系

Fig. 1 The fitting relation between the wind speed and the farthest distance of radar echo of sea wave
注: 回波距离、浪高、风速均为实测值, 图 2 同。

雷达探测海浪主要是靠破碎的浪花而产生的后向散射。这一点从本站探测海浪中得以证实。风速在 4 级以下没有探测到海浪回波, 即在 4 级风以下不产生破碎的浪花, 这样又可得出雷达方程:

$$Pr = \frac{PiG^2\lambda^2A\sigma}{(4\pi)^3r^3} \quad (6)$$

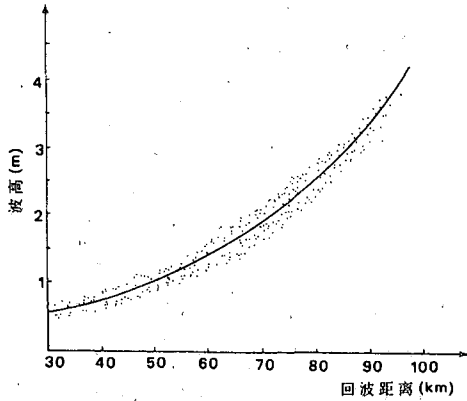


图2 海浪回波的最远距离与浪高的换算曲线
Fig. 2 The conversion curve between the wave height and the farthest distance of radar echo of sea wave

根据 Mitsuyasa 和 Honda^[1] 以及 Phillips^[3] 的实验, 得到海面的风速 U 与 r 有如下关系:

$$U \propto r^{16/9} \quad (8)$$

从式中可以看出风速愈大, 海浪回波的距离就愈远, 成近二次方的关系。因此可以利用海浪回波的最远距离与海浪的实测风速建立拟合关系。

根据连云港 714 雷达 1988~1991 年获取的 186 次海浪回波资料, 以方位在 345~115° 之间的风向为主, 对有关参数进行计算, 结合海上实测风浪资料, 进行了风、浪、回波的最远距离点聚, 得出了海浪回波最远距离与风速的拟合关系(图 1), 以及海浪回波的最远距离与浪高的换算曲线(图 2)。考虑浪高实测站离岸近带来的波浪误差的影响, 经过连云港锚地自动观测站的资料对比分析, 使用图 2 时加 0.2~0.3m 的波高修正值, 通过多次验证基本符合实况。

式中 A_e 为天线的有效面积, 其它参数同(1)式, P_i, G, λ, A_e 均为常数, 把 P_i 定为某一数值就可得到:

$$\sigma \propto r^3 \quad (7)$$

表 2 雷达探测浪高与实测浪高的验证

Tab. 2 Verification of radar-detected wave heights using the actual observations

时间 (年.月.日 时:分)	实测风 向风速 (m/s)	实测 浪高 (m)	预测 浪高 (m)	海浪回波 范围(km)
1990.11.30				70
8:00	NNW13.0	1.6	1.4	70
11:00	NW13.0	1.4	1.5	75
14:00	NW11.0	1.4	1.2	62
17:00	NNW14.0	1.9	1.8	76
1990.1.30				
8:00	N10.0	1.5	1.3	61
11:00	N14.0	1.8	1.7	72
14:00	N8.7	1.2	1.1	58
17:00	N12.7	1.4	1.5	70

3 回波距离与风速、波高关系的验证

对上述关系进行了多次验证(表 2), 从表 2 中可以看出, 雷达预测的波高略小于实测波高, 但基本上符合实况。因此利用雷达探测预测海浪有以下几个特点: (1) 预报及时、准确; (2) 方法简单、资料收集快、信息传递迅速, 可以定时和不定时地向近海发布风浪实况; (3) 弥补因局地地形环境而引起的风浪变化。

以上工作只限于 345~115° 方位中的风向, 其它方位中的风向与风浪的对应关系有待进一步研究。

A STUDY ON THE DETECTION OF SEA WAVE BY RADAR

Zhu Shoudong

(Weather Bureau of Lian Yungang, Jiangsu, 222001)

Received: Mar. 20, 1991

Key Words: Sea wave, Radar echo, Detection method

Abstract

Based on the echo data of sea wave detected by 714 synoptic radar, together with the observation data of wave height, the echo features of sea wave are studied in this paper, with a starting point of coastal weather service. The conversion method between the farthest distance of the echo of sea wave and the maximum wind speed is given.