

风浪超射现象的研究*

I. 实验分析

文 凡

(青岛海洋大学物理海洋实验室 青岛 266003)

提要 对风浪超射现象进行实验研究,由于峰频率谱值不易精确确定,因此通过谱分析不易获得精确的风浪超射曲线。在风浪槽中 4 个风区处观测随风时成长风浪,以子波变换分析风浪资料。结果表明,风浪高频组成波在成长中发生能量超射,与 Sutherland 等的结果相比,该能量超射幅度更大。

关键词 超射 子波变换

学科分类号 P731.22

风浪高频组成波的能量摄取和消耗(风能输入、波波相互作用和波破碎)是影响风浪成长的重要因素。Barnett 等(1967)在海上观测中最先发现风浪高频组成波在成长过程中的能量超射现象,发现高频组成波能量先随风区增长,在某一风区处达到最大值(能量超射),然后其能量逐渐下降至某一稳定值, Barnett 等(1967)称之为超射现象。此后 Sutherland (1968)、Mitsuyasu (1969)、Jacobson 等(1972)在风浪槽实验中相继发现此现象。

超射现象揭示风浪高频组成波在成长过程中的能量消长,对超射现象的研究有利于对风浪成长机制的深入探索。超射现象虽被多次实验证实,但迄今对此过程进行的定量观测结果多有差异。在超射实验中高频波能量得自谱估计。在高频波能量发生超射的风区,该组成波频率接近该风区处风浪谱峰频率。峰频率谱值若不能精确确定,该组成波能量便不能精确确定。而精确确定峰频率谱值是谱估计中主要困难之一(它依赖于谱的平滑方式)。超射实验中的另一困难是,实验中采用较少的分立观测点,只能以少量观测点的高频波谱估计值拟合连续的超射曲线。

子波变换是资料分析的有力数学工具。子波变换对观测资料在频域时域中局地地反演。本文研究以子波变换反演定风区随风时成长风浪资料,分析高频波能量超射过程。不同于谱分析,子波变换对某一频率尺度组成波直接反演,无需进行谱的平滑。子波变换的另一优势是,它对观测资料连续反演,避免了曲线拟合的困难。较之谱分析,子波变换更为精确、精细地反演高频波能量超射过程。

* 国家自然科学基金项目,49776285号。文凡,出生于1968年9月,硕士,讲师, E-mail: scwen@qd-public.sd.cninfo.net

1 实验和子波变换

1.1 实验

实验在青岛海洋大学风浪槽中进行。槽宽 1.2m, 高 1.4m, 实验段长 50m。测量波高的设备为电阻式测波仪和一整套数据采集系统。

在风浪槽中 4 个位置测量波面高度。测点位置为: 15.9m(风区 1); 22.8m(风区 2); 31.8m(风区 3); 36.5m(风区 4)。

静水时打开风机, 使槽中风浪随时间成长, 直至达到稳定状态。在 4 个测点记录这一过程风浪波面高度。

实验时风速为 8m/s, 水深为 62cm。数据采集频率为 100 点/s。

1.2 子波变换

设 $\zeta(t)$ 为一实信号, t 为时间。取 $g(t)$ (一般为复函数), 关于 $\zeta(t)$ 的子波变换被定义为:

$$\zeta(\tau, z) = \frac{1}{\sqrt{z}} \int_{-\infty}^{\infty} g\left(\frac{t-\tau}{z}\right) \zeta(t) dt \quad (1)$$

式中, “-” 为对 g 取共轭; z 为子波宽度; τ 为子波在时间轴上的位置; $g(t)$ 称为子波, 满足条件:

$$\begin{cases} g(t) \neq 0 & -\Lambda \leq t \leq \Lambda \\ g(t) = 0 & t < -\Lambda, t > \Lambda \end{cases} \quad (2)$$

且有:

$$\int_{-\infty}^{\infty} g(t) dt = 0 \quad (3)$$

$$\text{在本文研究中, 取 Molet 子波 } g(t) = \exp(ict) \exp\left[-\frac{t^2}{2}\right] \quad (4)$$

式中, 取 $c = 5$ 。

子波变换的重要特征在于, 它将信号 $\zeta(t)$ 在频域时域中局域地反演, 探寻 $\zeta(t)$ 中某一频率尺度的组成波, 详见文献(Goupillaud *et al.*, 1984; Grossmann *et al.*, 1987)。

2 结果和讨论

2.1 实验和分析结果

对风区 1 风浪频率在 $3s^{-1}$ 附近组成波进行子波变换, 结果见图 1a。每一个 $A-t$ 剖面, 对应一个频率组成波的子波反演振幅图。图 1a 中的山峰高度表征组成波能量大小。该风区风浪达到稳定后风浪谱的三倍频频率为 $3s^{-1}$ 。这里三倍频是指频率三倍于主频波频率(下同)。

图 1a 中的高大“山包”即高频波能量“超射”阶段。风浪槽中的风浪随风时成长较快, 由于波面的记录不是从真正的零时刻开始(风掠过静水时), 因此在图 1a 中高频波很快达到能量超射状态。

在“山包”之后较低的“山地”是高频波能量处于稳定的阶段。

子波变换探寻某一频率尺度的组成波。图 1a 是频率尺度为三倍频的组成波的成长过程。图 1a 中的超射“山包”不能被理解为这一频率尺度组成波的波群包络线。因为若

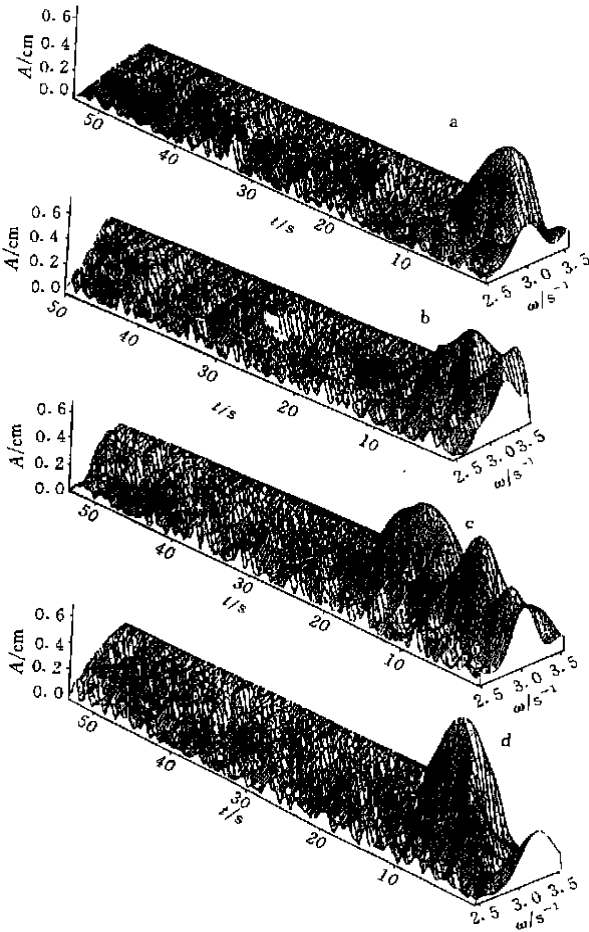


图1 各风区超射过程

Fig. 1 Overshoots in four fetches

a. 1 风区; b. 2 风区; c. 3 风区; d. 4 风区

坐标轴分别为: t 为时间; ω 为频率; A 为振幅

风区的生长由高频向低频段推移。对于一指定频率的组成波,在该组成波能量发生超射的风区,该组成波频率等于或非常接近该风区处风浪谱的峰频率。若峰频率谱值不能精确确定,该组成波谱值将不能精确确定。而峰频率谱值的确定是谱估计中的主要困难之一。谱估计中谱的平滑方式显著地影响峰频率谱值。因此由此得到的超射曲线在一定程度上依赖于谱的平滑方式。事实上,迄今对超射现象的定量观测结果多有差异。

在组成波能量发生超射的风区,若窄谱被平滑为较宽的谱,峰频率谱值将下降,该组成波的能量估计将偏低,超射曲线的超射幅度将偏低。

以子波变换分析超射过程避免了这一困难。本文以子波变换分析定点随风时成长风浪资料。子波变换对某一频率尺度的组成波成长过程直接反演,在反演中无需进行某种平滑。子波变换的另一优势是,它对随风时成长风浪资料在时间上连续反演。而基于谱

此“山包”为波群包络线,在该山包之后类似的“山包”还将再次出现。而图 1a 的反演结果表明,“山包”并未再次出现。因此,图 1a 中的“山包”只起因于每个组成波在该段时间内有较大的振幅(能量)。

在山包之后是不断起伏的“山地”,该频率尺度组成波形成的波群是造成这些起伏的原因之一。由图 1a 可见,这些起伏的幅度远小于超射山包的幅度。这亦说明波群不是造成山包的原因。

图 1a 中的一个重要特点是:高频波能量在超射阶段显著大于其后的稳定阶段。

图 1b、1c、1d 分别为风区 2、3、4 处风浪资料子波变换振幅图,高频波超射特征与图 1a 大致相同。

2.2 与 Sutherland 等(1968)的结果比较

将图 1a—d 与 Sutherland(1968)的结果比较,可看出图 1a—d 中的高频波有更强的能量超射。

Sutherland(1968)的实验分析随风区成长的稳定风浪,高频波的能量得自谱分析。但谱估计中的误差给精确确定组成波能量带来困难。对随风区成长的稳定风浪,风浪谱峰频率随

估计的超射实验是在较少的分立观测点观测随风区成长的风浪, 以各观测点的谱估计值拟合超射曲线。由于在高频波能量发生超射的风区段, 其能量随风区变化较大, 以较少的分立观测点观测, 不易获得精确的超射曲线, 特别是不易精确确定能量最大超射风区点。若不能找到能量最大超射点, 拟合曲线的超射幅度将偏低。

3 结语

谱估计的误差和观测风区点的分散给精确观测超射现象带来困难, 本文以子波变换反演风浪槽中定点随时成长风浪资料。分析结果表明, 高频组成波在成长过程中发生能量超射, 与 Sutherland(1968)的结果比较, 子波变换所得超射曲线有更大的超射幅度。

参 考 文 献

- Barnett T P, Wilkerson J C, 1967. On the generation of wind waves as inferred from airborne radar measurements of fetchlimited spectra. *J Marine Res*, 25(3): 292—328
- Goupillaud P A, Morlet J, 1984. Cycle- octave and related transforms in seismic signal analysis. *Geoexploration*, 23: 85—105
- Grossmann A, Morlet J, 1987. Decomposition of Function into Wavelet of Tant Shape and Related Transforms. Singapore: World Scientific, 1—320
- Jacobson J W, Cobnell J M, 1972. Spectral Development of Wind- generated Water Waves in a laboratory facility. Massachusetts: Univ. of Massachusettes, Rept No Um- 72- 8, 71
- Mitsuyasu H, 1969. On the growth of the spectrum of wind- generated waves (II). Reports Res Inst Appl Mech, Kyushu Univ, 17(59): 235—247
- Sutherland A J, 1968. Growth of spectral components in a wind- generated wave train. *J Fluid Mech*, 33: 545—600

A STUDY ON OVERSHOOT PHENOMENA IN WIND- GENERATED WAVES I. EXPERIMENTAL ANYLYSIS

WEN Fan

(Laboratory of Physical Oceanography, Ocean University of Qingdao, Qingdao, 266003)

Abstract A study is made on the overshoot phenomena in wind- generated waves. The experiment was made in the wind- wave channel in the Laboratory of Physical Oceanography in Ocean University of Qingdao. The surface displacements of time- growing waves were measured at four fetches in the channel and analyzed using wavelet transform. The results were compared with those of Sutherland. It was found that the high frequency wave components experience strong energy overshoot in the evolution. The energy of high frequency waves decreases greatly after overshoot.

Key words Overshoot Wavelet transform

Subject classification number P731.22