

文章编号: 0529-6579 (1999) 02-0090-06

台风影响下海滩内碎波带的波动特征^{*}

陈子

(中山大学河口海岸研究所, 广东 广州 510275)

摘要: 根据 9713 号台风影响期间对粤东海岸一海滩内碎波带 2 个测波点同步测量的波浪资料, 分析了内碎波带的波功率谱、交叉谱和二阶相干谱, 讨论了海滩反射性、碎波要素、组成波之间非线性相互作用与长重力波的形成等与地形动力有关的海滩—碎波带波动特征。

关键词: 反射性海滩; 内碎波带; 波功率谱; 二阶谱估计; 长重力波

中图分类号: P 731.22 **文献标识码:** A

海滩(沙滩)地形和碎波带动力学是海滩过程研究的重要内容。研究表明, 由碎波带波流动力和地形组合构成的海滩状态或类型是时空高度变化的, 对于复杂波况的海区, 在特定的海岸动力作用下, 不同的海滩状态在空间上可同时赋存与相互影响, 从而塑造了复杂的海滩—碎波带地形动力学过程^[1]。然而, 至今国内尚未见到对高能状况下天然海滩碎波带波动特征的研究。本文对 9713 号台风影响期间现场收集的资料加以分析。

1 研究区环境背景与地形特征

研究地点位于广东省碣石湾口西侧的一岬间弧形小湾的中段海滩(图 1)。海滩滩高坡陡, 内碎波带地形由砂坝—沟槽构成(图 2)。海区深水波候基本特征表现为多变风浪



图 1 研究区海滩位置图

Fig 1 Beach location of study area

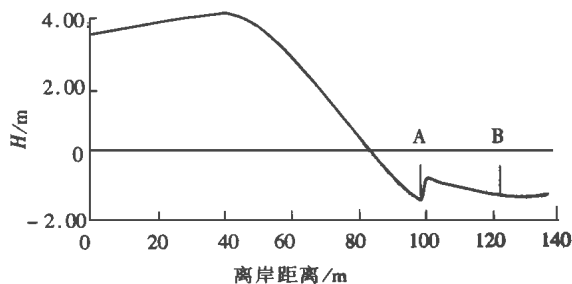


图 2 海滩内碎波带地形剖面图

Fig 2 Topography profile of beach inner surfzone

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (49676297); 广东省自然科学基金资助项目 (950074)

收稿日期: 1998-10-19 作者简介: 陈子, 男, 1952 年生, 副研究员。

叠加较稳定的ESE向涌浪上, 年均波高1.2 m, 平均波周期4.2 s, 平均大潮潮差1.09 m, 近岸海流平均流速一般小于 0.1 m/s ^[3]. 1997年8月20日9713号台风进入南海北部后向西运动, 最低中心气压975 hPa, 中心附近最大风速30 m/s, 22日此台风于越南登陆. 20~22日为大潮期, 受过境9713号台风影响, 碎波带波动增强, 波增水作用明显.

2 资料收集和研究方法

于内碎波带投放2个压力式测波仪, 分别位于剖面地形的凹槽(测站A)和砂坝面上(测站B)(图2), 数据采集自20日15时~21日13时, 2 h一次, 采样频率为4 Hz, 每组数据4 096个, 共获得24组内碎波带波面变化数据. 同期, 对海滩地形剖面作了2次重复测量. 对各组记录数据中存在的线性变化趋势加以消除, 从自协方差函数和互协方差函数估计了2测站的波功率谱和交叉谱. 对交叉谱的相干系数作了置信水平为95%的检验. 利用谱矩法计算了波要素和谱宽度参数 ν ^[3]. 用二阶谱估计方法^[4]分析组成波之间非线性相互作用, 二阶自谱 $B(f_1, f_2)$ 和二阶相干谱 $b(f_1, f_2)$ 的计算公式为

$$B(f_1, f_2) = E[A(f_1)A(f_2)A^*(f_1 - f_2)]$$

$$b(f_1, f_2) = \frac{|B(f_1, f_2)|^2}{E[|A(f_1)|^2]E[|A(f_1 - f_2)|^2]}$$

式中, $A(f_1)$ 和 $A(f_2)$ 分别为频率 f_1 和 f_2 的复富氏系数, $*$ 表示复共轭, $E[\cdot]$ 表示取数学期望. 置信水平为95%的二阶相干谱的临界值为: $b_{95\%}(f_1, f_2) = (6/df)^{1/2}$, df 为自由度.

3 内碎波带波动特征

3.1 海滩地形动力状态、碎波能量、碎波谱宽度和碎波比

Wright等^[1]使用碎波标度参量 ϵ 来表示海滩—碎波带的反射性和耗散性

$$\epsilon = a_b \omega_b^2 / (g \tan^2 \beta)$$

式中, a_b 为破波振幅; ω_b 为破波圆频率; β 为海滩—碎波带坡度. 当 $\epsilon < 2.5$ 时, 海滩高反射性, 激散破波与亚谐波振荡为主, 随 ϵ 增大, 碎波带向耗散性过渡; 对于高耗散性海滩, $\epsilon > 20$, 此时破波类型向卷破波与溢破波过渡, 并形成长重力碎波拍(周期为30~300 s).

Battjes^[5]提出了一个与 ϵ 等价的表达式来区分破波类型

$$\zeta = \tan \beta / (H_b / L_0)^{0.5} = (\pi / \epsilon)^{0.5}$$

式中, H_b 为破波高; L_0 为深水波长. 当 $\zeta > 2.0$ 时, 属于激散破波或崩波; $\zeta < 0.4$ 时, 为溢破波; ζ 为0.4~2.0时, 则为卷破波.

由实测的海滩剖面地形与碎波要素值计算了2个测站的 ϵ 值、 ζ 参量、谱宽度参量 ν 、 γ (表1). 由表1可见, A站测量期间始终处于高反射性状态, ϵ 平均为1.39, 多形成卷波破碎; B站自20日17时起迅速趋于耗散状态, ϵ 平均值等于25.19, 以溢波破碎为主. 从B站至A站有效波高有所减小, 反映了破波与底摩擦的能量耗损作用, 而2站有效波高随时间的变化则与水深呈正相关关系. ν 计算值表明破波带波浪属于宽谱, 能量分散在宽的频带上. 根据实验室分析的碎波高与水深比 γ 值通常为0.88~1.28. 尽管2测站的 γ 值明显小于实验室分析结果, 但表1显示2站的 γ 值很快都趋向一定值, 这表明碎波带处于饱和状态. γ 值明显小于由规则波所得到的值还意味着海滩波增水值要小于传统方法的预报值. 根据碎波带内因波辐射应力 $S_{xx} (= (3/2)E = (3/32)\rho g H^2)$ 导致的平均水面 η 变化^[6].

$$dS_{xc}/dx = - \rho gh \, d\eta/dx, \quad d\eta/dx = \tan \beta/(1 + 16 \, \gamma^2/3)$$

式中, E 为波能密度, 等于 $\rho g H_s^2/16$, 由 2 测站间距离 dx 、 γ 值与剖面坡度 $\tan \beta$ 对上式数值积分计算的 2 测站间各组的波增水 η 和由海岸工程中使用的经验公式 $\eta (= 3 H_s/8)$ 计算的波增水值(表 2), 二者相近.

表 1 两个测站碎波带特征值¹⁾
Tab 1 Characteristic values of surf-zone at two stations

测站	日时	20T15	20T17	20T19	20T21	20T23	21T01	21T03	21T05	21T07	21T09	21T11	21T13
A	H_s/cm	40.8	40.9	44.3	54.0	57.6	54.9	44.2	59.2	71.6	85.1	86.8	83.0
	T/s	4.5	5.4	5.0	4.6	4.7	4.6	5.3	4.5	5.2	5.9	6.1	6.1
	ϵ	0.45	1.03	1.26	1.15	1.22	1.54	1.26	1.68	2.02	1.81	1.88	1.33
	ν	0.98	0.96	0.88	0.66	0.66	0.66	0.94	0.65	0.70	0.72	0.77	0.80
	ζ	2.64	1.75	1.58	1.65	1.61	1.43	1.58	1.37	1.25	1.32	1.29	1.54
	γ	0.62	0.35	0.34	.33	0.33	0.31	0.33	0.33	0.35	0.35	0.36	0.34
	h/m	0.66	1.16	1.31	1.66	1.77	1.76	1.32	1.81	2.06	2.40	2.40	2.42
B	H_s/cm	40.6	54.6	50.5	59.7	64.0	62.1	50.7	66.2	77.0	91.8	81.8	80.0
	T/s	4.9	4.7	4.8	4.4	4.5	4.5	5.1	4.7	5.0	5.3	5.7	5.9
	ϵ	12.56	22.14	20.50	24.19	25.83	25.01	28.02	27.06	31.57	37.72	34.44	33.21
	ν	0.89	0.75	0.77	0.67	0.64	0.68	0.86	0.64	0.64	0.66	0.72	0.73
	ζ	0.50	0.38	0.39	0.36	0.35	0.35	0.63	0.34	0.32	0.29	0.30	0.31
	γ	0.92	0.73	0.52	0.43	0.42	0.41	0.50	0.44	0.44	0.44	0.39	0.37
	h/m	0.44	0.75	0.97	1.38	1.52	1.50	1.02	1.51	1.74	2.10	2.10	2.16

1) H_s 为有效波高, γ 为破波高与水深比值, h 为水深, T 为平均波周期

表 2 两测站间的波增水值
Tab 2 Wave set-up values between two stations

日时	20T15	20T17	20T19	20T21	20T23	21T01	21T03	21T05	21T07	21T09	21T11	21T13
η/m	0.09	0.22	0.23	0.20	0.18	0.19	0.21	0.22	0.23	0.21	0.22	0.19
η_z/m	0.15	0.20	0.19	0.22	0.24	0.23	0.19	0.24	0.29	0.34	0.31	0.30

2 个测站各组记录的波功率谱(图 3)与交叉谱(图 4)估计结果具有以下主要特征:

(1) 碎波带波浪由一系列组成波构成, 从峰极值频率向高频方向波能量呈指数衰减.

(2) A 站长重力波频带能量大于 B 站, 长重力波能量随台风影响的加强而加大; 入射波频带能量略低于 B 站, 说明了因破碎涡动过程与底摩擦作用导致的能量耗损.

(3) 波频谱中存在着极值频率为 0.125 0 Hz (部分记录为 0.109 4 Hz) 的组成波, 根据 2 站历次同步记录的交叉谱来看, 位相差表明此频带组成波是从海向岸传播的, 是入射波能量摄取的主要来源.

3.2 波一波非线性相互作用、海滩反射性与长重力波

功率谱分析发现, 2 测站记录中普遍存在着长重力波峰值(图 3), 这些长重力波出现在 0.015 6 或 0.031 3 Hz 频率处. 其中, A 站主要为 0.031 3 Hz 频率的长重力波, 而 B 站则出现 0.015 6 Hz 的长重力波. 交叉谱的相干分析结果显示(图 4), 从 20 日 19 时起随着水位增高 2 站之间波的耦合作用明显增强. 在长重力波频带, 2 站间存在着最大的相干系数, 反映在此频带存在着最强的能量转移, 位相差关系表明, A 站振动先于 B 站, 即长重力波动是从岸向海方向传播的, 根据 A 站长重力波振幅大于 B 站推断, 长重力波的形成

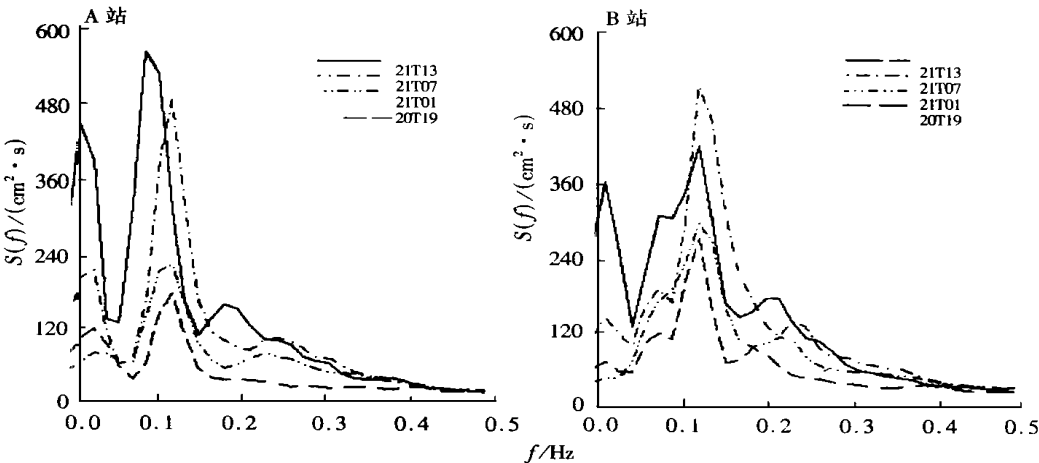


图 3 2 测站部分测组功率谱

Fig. 3 Wave spectra of partial runs

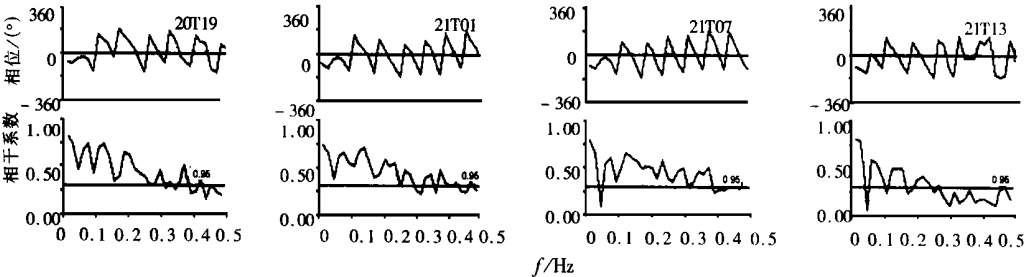


图 4 两测站部分测组相干谱和位相谱

Fig. 4 Coherency and phase spectra of partial runs

可能还与海滩的高反射性有关. 由长重力波频带平均位相差得到的 2 测站间平均时间滞后后计算了 2 测站间长重力波的平均波速 $c_1 (=dx/dt)$ 和长波波速 $c_2 (= (gh)^{1/2})$ 以及二者比值 $R (=c_1/c_2)$. 分别为: $c_1=1.92\text{ m/s}$, $c_2=2.49\text{ m/s}$, $R=0.77$.

据文献 [7, 8], 长重力波可通过入射波频带的频率差的相互作用形成. 二阶谱的相干计算结果反映出, 长重力波的形成与多相干频率组有关. 对于 A 站波记录中的长重力波, 其形成主要与低频带间能量转移有关, 但无论是 0.015 6 或 0.031 3 Hz 长重力波, 频率组中倍频的相干性更强. B 站出现的 0.015 6 Hz 长重力波, 其形成以较高频的频率组间相互作用为主. 然而, 也普遍存在着 0.015 6 Hz 的倍频相干频率组 b (0.031 3, 0.015 6), 因此其可能与 A 站 0.031 3 Hz 长重力波的耦合作用有关^[9]. 从海滩的高反射性、碎波带的耗散性和长重力波自岸向海传播, 有理由认为反射波与入射波的耦合共振和地形对波的频率选择作用是长重力波形成的重要原因.

4 结 论

对此海滩—碎波带在台风期间的波动分析结果, 有以下几点结论:
(1) 海滩自岸向海从高反射性迅速向耗散状态变化, 相应的空间上同时存在着卷破波与溢破波类型. γ 值明显低于理论值, 很快趋于—较稳定值.

(2) 由深水传入的入射波频率介于 $0.125 \sim 0.1094 \text{ Hz}$ 之间, 碎波带波动由多个组成波构成, 能量分布在宽频带上。

(3) 内测站长重力波能量大于外侧站, 长重力波自岸向海方向传播。海滩高反射性和入射波间的非线性相互作用与地形频率选择作用是形成长重力波的机制。

致谢 参加现场工作的还有施伟勇、彭炳健和涂新军同志, 特此致谢!

参考文献:

- [1] WRIGHT L D, SHORT A D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis [J]. *Mar Geol*, 1984, 56: 93 ~ 118.
- [2] 陈子. 碣石湾西部近岸带地形动力与泥沙输运趋势分析 [A]. 第八届全国海岸工程学术讨论会论文集(上集) [C]. 北京: 海洋出版社, 1997. 418 ~ 424.
- [3] 文圣常, 余宙文. 海浪理论与计算原理 [M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [4] 丁平兴, 孙孚, 余宙文. 二阶谱理论及其在波浪研究中的应用 (II) [J]. *海洋与湖沼*, 1993, 24 (6): 649 ~ 655.
- [5] BATJES J A. Surf similarity [A]. In: *Proc 14th Int Conf Coastal Eng* [C], 1975. 466 ~ 479.
- [6] BOWEN A J, INMAN D L, SIMMONS V P. Wave set-down and set-up [J]. *J Geophys Res*, 1968, 74 (23): 5479 ~ 5490.
- [7] ELGAR S, GUZA R T. Observations of bispectra of shoaling surface gravity waves [J]. *J Fluid Mechanics*, 1985, 161: 425 ~ 448.
- [8] AAGAARD T, NIELESEN N, NIELSEN J. Cross-shore structure of infra-gravity standing wave motion and morphological adjustment: An example from Northern Zealand, Denmark [J]. *J Coastal Research*, 1984, 10 (3): 716 ~ 731.
- [9] 陈子. 台风作用下海滩碎波带的长重力波特征 [J]. *中国学术期刊文摘*, 1999, 5 (2): 201 ~ 202.

Characteristics of Wave Dynamics of Inner Surf Zone in a Beach under Typhoon Influence

*
CHEN Zi-shen

Abstract: The wave power spectra, cross-spectra and bispectra of surf-zone under high wave condition are analysed based on the synchronously collected wave data of two stations in the surf-zone of the eastern Guangdong coast during typhoon 9713. The beach reflectivity, breaking waves types, wave-wave nonlinear interactions and the infragravity waves related to the morphodynamics of the beach surf-zone are discussed.

Keywords: reflective beach; inner surf-zone; wave power spectra; bispectral estimation; infragravity waves

* Institute of Estuarine and Coastal Research, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China