

粤东汕尾岬间海滩体积短期变化分析^{*}

李志龙, 陈子[✉], 戴志军

(中山大学水资源与环境系, 广东 广州 510275)

摘 要: 利用粤东汕尾寮咀口岬间海滩重复测量的剖面数据, 计算了 6 个 (—1~2 m) 不同高程处的海滩单宽体积。通过经验正交函数分解和谱分析, 探讨了不同高程处沿岸海滩体积变化的主要空间过程及其在时间上的变化特征。并与同期的风、浪作相干谱, 分析了其变化的动力因素。结果表明, 海滩体积的空间变化的主要特征可由占数据总体方差 76%~87% 的三个特征函数来描述: 第一特征函数表征了海滩变化的主要过程, 此过程有以第 1 条剖面为中心的泥沙运动, 且有半月的准周期; 第二特征函数体现相应的海滩过程有以第 8 条剖面为中心的泥沙运动, 不同的高度层面有不同的短周期过程; 第三时间特征函数与测量过程出现的台风有较好的吻合。交差谱分析表明, 海滩体积变化与风、浪有较好的相关性; 体积变化对风、浪在不同高度层面有不同时间的滞后。

关键词: 海滩体积; 经验特征函数; 功率谱; 节点; 交叉谱

中图分类号: P731.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) 02-0112-05

天然海滩位于海陆相互作用的敏感地带, 海滩变化过程是海岸波、潮、风等动力因子和海滩地形相互作用的结果^[1,2]。浪生沿岸流是沉积物运动的主要原因, 强风也可以造成沿岸流, 它与波浪作用相配合会产生沉积物的沿岸运移^[3]。海滩剖面则通过地貌形态结构的时空变化在一定程度上反映了复杂的过程——响应系统的海滩主要过程^[4]。

经验正交函数分解分析方法能以少数特征型来代表原始数据场的主要特征, 一些研究人员用此来分析海滩的时空变化特征并取得了很好的效果^[5-7], 但因为大多基于对海滩剖面高程数据的分析, 所以未能反映出沿岸泥沙运动及海滩沿岸变化。本文利用现场重复测量的海滩剖面高程数据, 计算出不同时间不同高程处的单宽海滩的体积, 并对其进行了经验特征函数分解, 分析了沿岸海滩体积变化的空间特征型及地形学意义。对其相应的时间特征函数应用谱分析来探讨体积变化的时、频域特征, 并结合同步的风和波浪数据, 进行相干分析, 简要阐明了其变化的动力原因。

1 研究区域环境

研究地点位于粤东碣石湾西南的寮咀口岬间袋状海滩 (图 1), 湾口宽约 1.2 km, 海滩表现为侵蚀的地貌形态。由当地遮浪海洋观测站 1974—1992

年资料统计分析结果表明, 海区风速较大, 年平均风速是 6.5 m/s, 各月平均风速在 10 月至翌年 3 月较大, 均在 6.8 m/s 以上。波侯主要特征为: 常浪向为 ENE~ESE, 平均波高 1.8~1.1 m, 平均周期 4.5~4.3 s, 强浪向冬半年为 ENE 和 E 向, 夏半年为 ESE 和 SE, 海区潮汐为不正规日潮混合潮, 平均潮差仅 0.84 m, 海区属于波控弱潮海岸。夏季多台风, 台风是造成海滩地形变化和泥沙输运的重要驱动力。

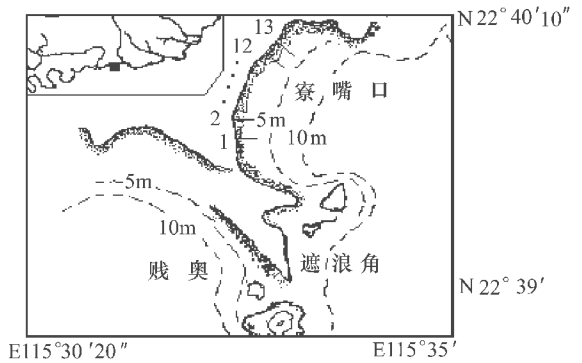


图 1 寮咀口海滩和剖面位置

Fig. 1 Liaozhikou beach and locations of profiles

2 基本资料的收集和预处理

自 1999 年 7 月 17 日至 8 月 24 日在研究地点

^{*} 收稿日期: 2003—04—18

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目 (992039)

作者简介: 李志龙 (1973 年生), 男, 博士研究生; 通讯联系人: 陈子[✉], E-mail: eesczs@Zsu.edu.cn

寮嘴口海滩设置与绝对高程（珠江基面）连测的 13 条固定剖面（图 1），剖面间距 30 m。逐日对剖面进行重复测量，每天测至低潮时涉水最深处。测量期间，因台风坛水作用，对个别测量水深有限的剖面以线性插值外推的方法，获取每条剖面的完整数据。收集了剖面测量期间同期波浪和风的变化资料（图 2）。

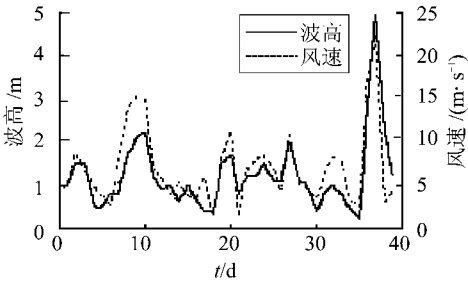


图 2 逐日波高和风速记录

Fig. 2 Daily records of wave height and wind velocity

对实测的 13 条海滩剖面，切取高程从 2 ~ 1 m 的海滩作为本文的研究对象。将此滩以 0.5 m 的间隔分为 6 个不同高程的层面。分别计算了 13 条剖面 6 个不同高程处 39 d 的海滩单宽体积，则得 6 个 13×39 的海滩体积数据矩阵。将体积数据按时间距平化，消除长周期影响。分别对这 6 个距平化的体积数据矩阵作经验正交函数分解：

$$X_i = V_i Y_i \quad i = 1, 2, \dots, 6$$

X_i 为第 i 高程处距平化的 13×39 体积数据矩阵； V_i 为第 i 高程处的 13×13 的空间特征函数矩阵； Y_i 为第 i 高程处的 13×39 的时间特征函数矩阵；提取了占数据矩阵总体方差绝大部分的前 3 个空间特征函数来分析海滩剖面的体积的沿岸变化型式。并对时间特征函数作功率谱分析，考察体积变化的时间特性。

为研究体积变化的驱动力，将其与同步测量的风速、波浪作交叉谱分析^[8]。

3 分析与讨论

3.1 海滩沿岸变化的 EOF 分析

对剖面单宽体积数据矩阵的经验特征函数分解结果提取了占数据总体方差较大的 3 个特征函数。3 个特征函数方差所占总方差的百分比从 76% ~ 87%（各高程处的 3 个特征函数分别所占总方差的百分比见表 1），可认为代表了剖面体积变化的主要空间特性（图 1）。

3.1.1 主要模式 第一特征函数占总方差的 46.1%~72.2%，可定义为代表了体积变化的主要

模式（图 3）。从图 3 中可以看出，代表不同高程处体积变化的第一空间特征函数均在第 1、2 条剖面间出现零点（节点），第 2~13 条剖面处全为正值（图 3a）。正的最大值在滩面较高处（2.0~1.0 m）出现在第 9 条剖面附近，向下（1.0~1.0 m）则转为第 4 条剖面附近。空间特征函数的节点代表了沿岸泥沙运输的冲淤转换位置，理论上此处冲淤平衡。而空间特征函数曲线的峰值则表示有较强的泥沙运输。由此说明，此空间特征型式表征了海滩在第 1、2 条剖面处较为稳定，从第 2 剖面向北沿岸至第 13 条剖面，则有较强烈的泥沙运动，海滩表现为不稳定。现场观测表明，第一空间特征函数的峰值处与海滩后滨侵蚀位置基本吻合。此过程与低潮带或碎波带水下坝槽系统有很大的联系^[9, 10]。一般认为节点处有较多的水下沙坝，而峰值处沟槽发育。

与第一特征空间函数相应的时间函数在不同高程处变化趋势非常相似（图 3b），反映该模式所确定的海滩泥沙输运在不同的海滩高度有相同的趋势；但越往下，其图形波动幅度越大，说明海滩的低处较高处有更强烈的泥沙运动，地形变化也更剧烈。对时间函数作功率谱分析，发现每一层面都有 13~14 d 的半月周期，且越往上此周期性越明显，这与潮汐周期基本吻合，反映了这一变化受潮汐的控制，可认为是叠加在大潮上的波浪作用所致。随高度的降低，与潮汐周期相应的海滩变化受到了更高频率事件的干扰，周期如 2~3 d 和 6~7 d 的周期（图 3c）。

3.1.2 次要模式 占总体方差 8.9%~12.9%的第二特征函数和占总方差 5.6%~9.6%的第三特征函数可认为泥沙体积变化的次要模式。

不同高程处的海滩体积第二空间特征函数均在第 7、8 条剖面间出现节点，而在 1~6 与 9~13 条剖面分别出现正值和负值。在海滩较高的部分（1.5~2 m），在 1~6 条剖面处，出现负值，9~13 条剖面处出现正值。较低的部分（0~1.5 m）出现相反的情况，1~6 条剖面处出现正值，9~13 条剖面处出现负值，且正负绝对值大小基本相同（图 4a）。由此说明，第二空间特征型表现为以 7~8 条剖面为转换节点的沿岸泥沙运动，且在高、低滩面有相反泥沙运动方向。对时间函数的作功率谱，发现均有 6~7 d 的周期，海滩较上的部分另有一个 2~3 d 的突出周期，较下的部分则另有一个准半月的突出周期（图 4c，图中选用 1.5~2.0 m、0.5~1.0 m 代表）。水下部分较为复杂，周期现象不明显，不予讨论。

表 1 特征函数所占方差百分比

Tab 1 The proportion of thr first three eigenfunctions in total variance

海滩高度层	1.5~2.0 m	1.0~1.5 m	0.5~1.0 m	0.0~0.5 m	-0.5~0.0 m	-0.1~-0.5 m
第一特征函数	72.67	55.66	57.42	60.05	60.39	46.12
第二特征函数	8.86	18.83	6.54	14.72	12.90	20.66
第三特征函数	5.60	7.95	8.76	9.52	9.64	9.55

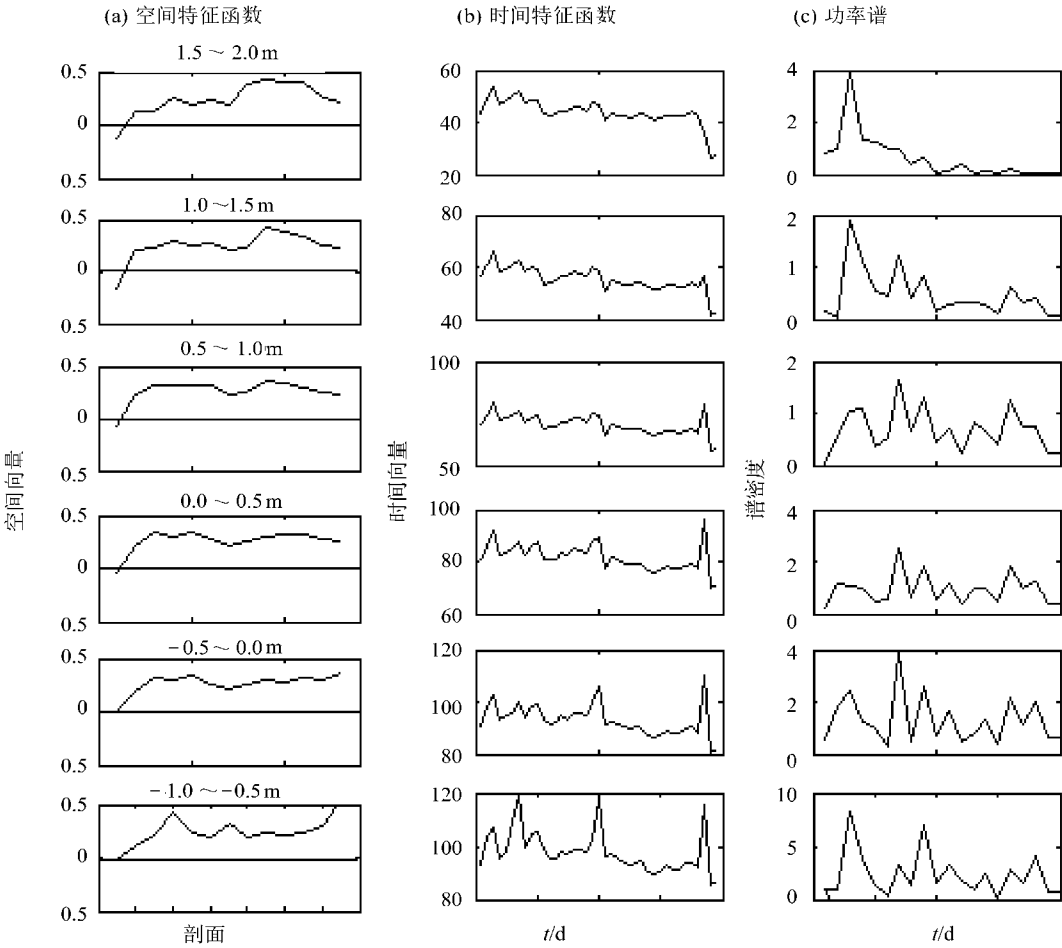


图 3 第一空间特征函数、时间特征函数和功率谱

Fig 3 The first eigenfunction, time function and power spectrum

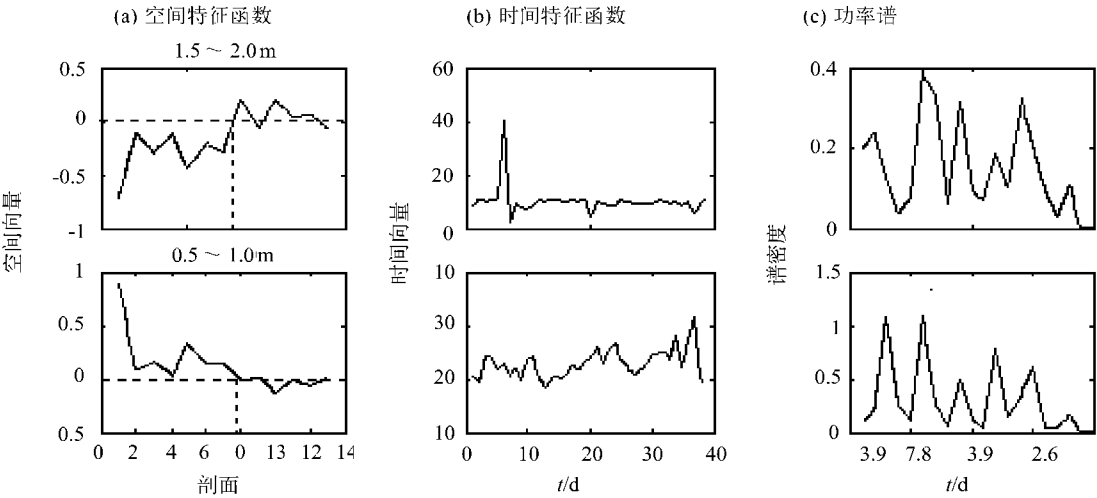


图 4 第二空间特征函数、时间特征函数和功率谱

Fig 4 The second eigenfunction, time function and power spectrum

不同的高程处第三特征函数均在第 8 条剖面处出现节点，节点两边正负峰值在不同的高程亦有不同(图 5a)。此空间型说明，海滩有以第 8 条剖面为中心的沿岸泥沙运动，且在不同的高程处其运动方向不同。其相应的时间函数有明显的三个峰值，与测量期间 9904、9905、9908 三次台风出现的时间基本吻合^[8]。其功率谱表明，此过程没有明显的周期现象(图 5b，图中选取典型高度层面作代表)。

3.2 体积变化与波浪、风的交叉谱

研究表明，波浪是导致海滩泥沙运动的最主要的动力因素^[11, 12]。该海区的波浪主要受制于风应力(图 2)。为考察泥沙运动的驱动力，本文作了第一时间函数与波能(平均波高的平方)、风速的交叉谱。时间函数与波能和风的凝聚谱表明，在高度 -0.5 m 以下的海滩部分相干性不显著。在平均高潮以上的部分 ($1.5\sim2\text{ m}$)，时间函数与波能在波数为 3—8 (即周期为 4.9~13 d) 处有显著峰值(图 6a)，其落后时间长度谱表明，体积变化相对波能变化时间滞后 3.4~5.6 d；与风速在波数为 3、7 (周期 5.6 d) 处有显著峰值，时间滞后分别为 0.7、0.9 d。潮间带部分 ($-0.5\sim1.5\text{ m}$) (图 6b，选取 $0.5\sim1.0\text{ m}$)，每层的时间特征函数与波能和风的凝聚谱大致相同，在波数为 6~11 (周期为 3.8~6.5 d) 处有显著峰值，时间滞后 1.73~1.75 d；与风速在波数为 7 (周期为 5.6) 处有显著峰值，时间滞后 2.04 d。

由此可见，海滩体积的变化与波能和风应力有较好的相干性；滩面较高的部分对风应力有较为快速的响应；而较低的部分，海滩对风和波浪作用的响应有较长的时间滞后。

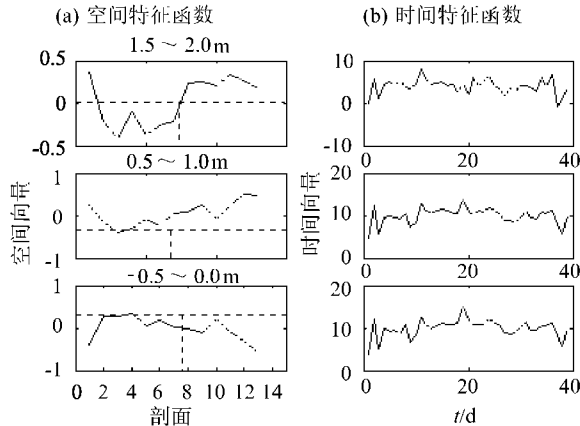


图 5 第三空间特征函数、时间特征函数

Fig 5 The third eigenfunction and time function

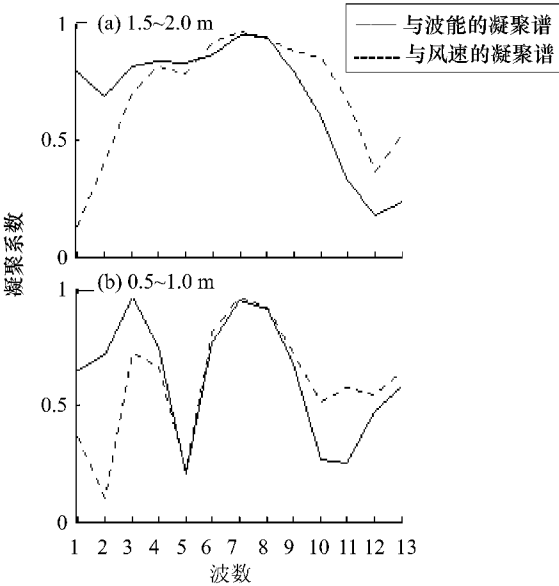


图 6 时间函数与波能、风速的凝聚谱

Fig 6 Coherency spectra between the first time function and wave power and wind velocity

4 结 论

本文利用粤东汕尾寮咀口岬间海滩重复测量的剖面数据，计算不同高程处的海滩体积。对海滩数据的经验正交分解提取了占总体方差 76%~87% 前三个特征函数，对相应的时间函数作功率谱分析。并将其与同期的风、浪作交叉谱。分析结果可得出如下结论：

(1) 占海滩体积变化数据总体方差 46.1%~72.2% 的第一特征函数代表了海滩体积变化的主要模式。此模式反映了在 1、2 条剖面处海滩稳定，有以此处为转换节点的沿岸泥沙运动。其功率谱表明，此过程有一个准半月周期。

(2) 占总体方差 8.9%~12.9% 的第二特征函数与占总体方差 5.6%~9.6% 的第三特征函数代表了海滩体积变化的次要模式。此二空间型式均以第 7、8 条剖面为中心沿岸泥沙运动的转换节点。第二时间特征函数的功率谱表明在不同的高度层面出现不同的短周期现象。第三时间特征函数反映了测量期间的台风作用，其功率谱周期现象不明显。

(3) 对第一时间特征函数与风、浪的交叉谱分析表明，体积变化与风浪有较好的相干性，但不同的层面凝聚谱出现峰值时的频率有差异，落后时间长度谱也不同。以滩面较高部分对风应力响应较快。

参考文献:

[1] KOMAR P D. Beach processes and sedimentation[M] . Prentice Hall, Englewood Cliff, NJ, 429.

[2] CHEN Z S. Analysis of the dynamic characteristics and stochastic simulation on variations of beach volumes[J] . Acta Oceanologica Sinica, 1995, 14(3): 393—403.

[3] P D 柯马尔. 海滩过程与沉积作用[M] . 丘建立, 等译. 北京: 海洋出版社, 1985: 220—314.

[4] 陈子 . 海滩剖面时空变化过程分析[J] . 海洋通报, 2000, 19(2): 42—48.

[5] AGTERBERG F P. Geomathematic[M] . Amsterdam: Elsevier, 1974: 596.

[6] AUBREY D G. Seasonal patterns of onshore/offshore sediment movement[J] . J G R, 1979, 84: 6347—6354.

[7] 戴志军, 陈子 , 欧素英. 粤东汕尾岬间海滩剖面月内变化过程特征分析[J] . 热带海洋学报, 2002, 21(1): 27—32.

[8] 黄嘉佑, 李黄. 气象中的谱分析[M] . 北京: 气象出版社, 1984: 96—120.

[9] CLARKE D J, ELIOT I G, FREW J R. Variation in subaerial beach sediment volume on a small sandy beach over a monthly lunar tidal cycle[J] . Mar Geol, 1984, 58: 319—344.

[10] SHORT A D. Three dimensional beach stage model[J] . J Geol, 1979, 87: 553—571.

[11] 王宝灿, 黄仰松. 海岸动力地[M] . 华东师范大学出版社, 1989.

[12] 陈士荫, 顾家龙, 吴宋仁. 海岸动力学[M] . 北京: 人民交通出版社, 1988.

Analysis of Beach Volume Variations Over a Month for
A Beach Between Headlands in Shanwei, Eastern Guangdong

LI Zhi tong, CHEN Zi shen, DAI Zhi jun

(Department of water resources and environment, Zhongshan University, GuangZhou 510275)

Abstract: Based on repeatedly measured profile data on the beach between headlands at the Liaoziukou bay in Shanwei, Eastern Guangdong Province, the beach volume data of unit width at different heights (2.0~1.0 m) were obtained. The main variation processes of the beach volume were analyzed with EOF. The results show that the beach volume variations can be described by three eigenfunctions which account for 76% to 87% of total variance. The first eigenfunction represents the main process of beach volume variation which has a zero crossing near the profile 1 where the alongshore translocations occurred and has a 13~14 day period. The second eigenfunction has a zero at the location of profile 8 and has different variation periods in different heights. The time series associated with the third eigenfunction correlates in accordance with typhoon events. The analysis of waves and wide with cross spectra shows that the volume variations well with wave and wind, and volume variations lag behind waves and winds effects but the phase is different at different heights.

Key words: beach volume; eigenfunction; power spectrum; node; cross spectrum