

# 海南岛新海湾海滩地貌状态与海岸 泥沙纵向运动特征\*

陈子燊

(中山大学河口海岸研究所, 广州 510275)

**提要** 根据1990年现场调查及前期观察资料,论述了海南岛新海弧形海湾不同岸段由主要动力驱动过程和海滩地貌结构组成的4种海滩地貌状态,为I.隐蔽段消散类型,II.脊-沟体系与低潮台地类型,III.韵律海滩与砂坝类型,IV.开敞段消散类型。应用泥沙粒级参数概率模型分析近岸泥沙纵向运动趋势,结果表明,常波况下,沿岸泥沙存在双向运动,湾顶海滩为汇集地带,泥沙纵向运动主趋势为西南向;高能条件下,海岸北段可出现北向泥沙运动。

**关键词** 弧形海湾 海滩地貌状态 泥沙纵向运动趋势 海南岛新海湾

海滩是波能驱动与耗散的活跃地带,由于受岸线走向、开敞程度,当地波况和泥沙供应状况,以及初始海滩地形的控制,弧形海湾不同岸段泥沙横向运动和纵向运动的强度和趋势各不相同,表现出不同的海滩状态与地貌动力过程,这方面在空间上相对宽广的弧形海岸尤为明显(Short, 1978)。对不同岸段海滩状态和泥沙运动特征的研究,在理论上和海岸开发利用上都具有重要意义。本文就海南岛新海湾的大量现场调查和有关资料,试对上述问题加以分析。

## 1 研究区背景

研究区位于海南岛北部,濒临琼州海峡,是平面形态为微弯弧形的海湾。海湾向西北方向开敞,海岸主体为一巨大砂坝,长约18km,自澄迈角向南南西方向延伸,至湾中部后逐渐转向南西方向,终至东水瀉湖口。坝后为一浅狭的边湾瀉湖区。大致以海湾中部为界,北部5m等深线以浅岸坡较陡;南部5—10m等深线之间坡度较大;澄迈角海底存在着大片礁群。它们对于不同方向的波浪和泥沙纵向运动的影响不同。

对附近玉苞波浪站1960—1969年的风和波浪资料统计表明,影响此海区风和浪的最大频率来自ENE-NNE向。但是塑造海滩状态与驱动泥沙强烈运动的,主要是台风和东北大风引起的大浪过程,尤其当台风从雷州半岛登陆,向西偏北方向穿行时;或台风从海南岛登陆,经海口西北穿过时,湾面可出现强劲的偏西北大浪。研究区“主要地形和海岸动力背景见图1。

## 2 海滩地貌状态

海滩地貌状态指的是在岸滩主要动力过程作用下,显示出的特征地貌组合(陈子燊等,1990;陈子燊等,1991;Wright et al., 1984)。新海湾海滩的不同岸段空间走向,对主要风、浪作用有不同的响应过程,沿岸泥沙平衡状况更进一步制约了海滩蚀积动态。据此,可把海滩分为沿岸方向同时存在的4个动态相关的地貌状态(图1)。

\* 国家自然科学基金资助,4880245号。

收稿日期:1991年12月16日,接受日期:1992年2月14日。

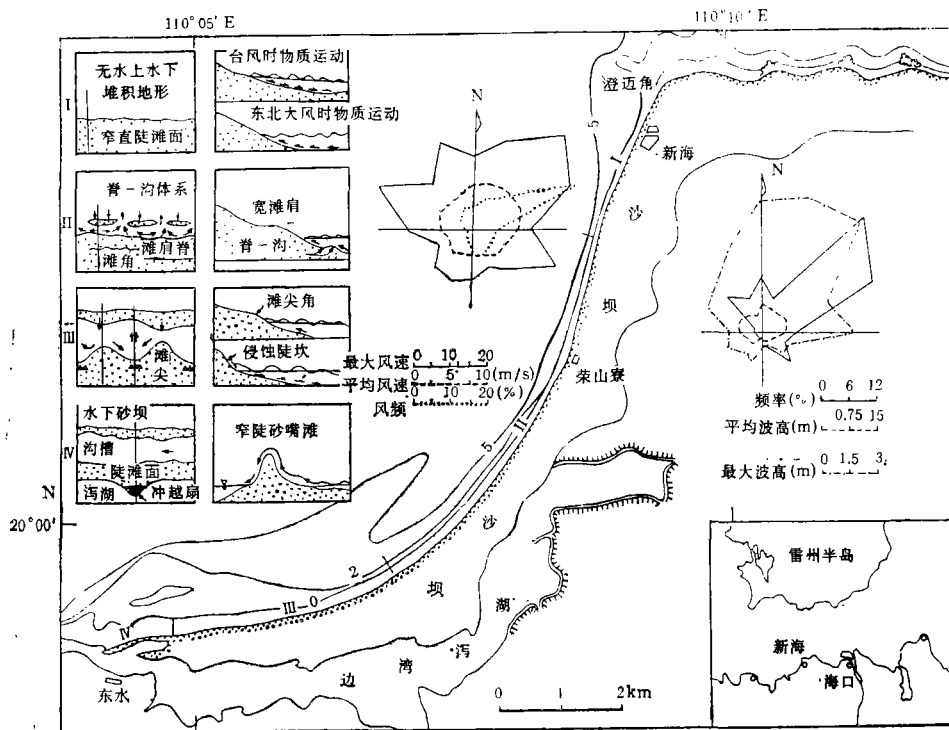


图1 新海海滩主要地貌动力过程与状态概图

Fig.1 Schematic diagram of main morphodynamic processes and the beach states in Xinhai, Hainan Island

**I. 隐蔽段消散类型** 澄迈岬角至湾顶的过渡带。由于澄迈角大片水下礁群掩护, 海滩相对于此海区常浪向为隐蔽段。引起海滩活动的主要驱动作用为东北大风和台风过程, 又由于这两种高能天气系统作用方向和岸线走向的关系, 此段海滩发展了截然相反的海滩垂向环流系统: 离岸东北大风时, 生成了表层向海、底层向岸的环流; 近岸区和碎波带, 泥沙向岸运移, 海滩上部净淤长。相反, 台风过境时, 通常为向岸风, 风与浪的联合作用形成了短且陡的波浪, 表层向岸、底层向海的垂直环流导致海滩净侵蚀; 而且由于近岸水下岸波陡直, 泥沙可被底流携带至较深水处堆积, 台风后的波况则难以扰动与携带深水泥沙向岸运动, 海滩砂处于亏损状况。从澄迈角运移而来的过境泥沙, 在优势浪作用下以缓慢地向西南沿岸方向运动为主。因此, 海滩难以建造起稳定和明显的水上与水下大型堆积地形, 通常剖面呈陡且略上凹的冲刷形态。

**II. 脊-沟体系与低潮台地类型** 位于弧形海湾湾顶段。海滩水上部分逐渐展宽, 滩肩地形相当发育, 并与平缓后滨相接。低潮线附近则建造了较宽的水下台地, 台地上常出现脊-沟体系。海滩活动主要表现在滩肩进退与脊-沟体系生成及向岸迁移并岸过程。脊-沟体系通常为沿岸方向规则排列, 长约 20 多米的小型砂脊与向海回流的小沟组成, 海滩受大浪侵蚀后, 伴随滩肩恢复与向海发展, 可形成小型滩角, 间距约 6—7m。不管滩角的形成与水下脊-沟地形关系如何, 或是否在一定地形及波况条件下形成滩角, 但是边缘波总是控制着这一小韵律地形的形成及发展 (Bowen, 1973), 此滩角作为一种堆积性地形

标志却是显而易见的。这一海滩地貌状态是与丰富来沙、低波能、宽广低潮台地等联系在一起 (King et al., 1949), 是此海湾海岸主要地貌状态之一。

**III. 韵律海滩与砂坝类型** 海滩走向渐转为东西方向, 出现大型韵律地形——滩尖, 间距可达 60m 以上, 尖角部位滩面略上凸, 湾部剖面呈上凹型。这一水上韵律地形, 向海与内砂坝水下韵律地形相伴; 向岸则与侵蚀陡坎相接; 其组合形成于台风时大浪的正面袭击之后。海滩侵蚀机制, 是以强烈的长重力震荡波、沿岸增水和辐射应力变化形成沿岸环流系统, 驱动水流从高增水区向低增水区流动, 并转为向海的裂流 (Wright, 1981)。一旦原始滩尖形成, 则侵蚀过程往往为地形所控制。受不同期台风过程作用, 这种滩肩是可沿岸移动的, 最终造成了此段海滩整体侵蚀后退。

**IV. 开敞段消散类型** 出现在砂坝的自由端, 为在老砂坝主体上分叉西延狭窄的较新砂嘴, 长约 1km。海滩剖面为双坡式, 碎波带更加消散。平均波况下, 波浪经宽广的

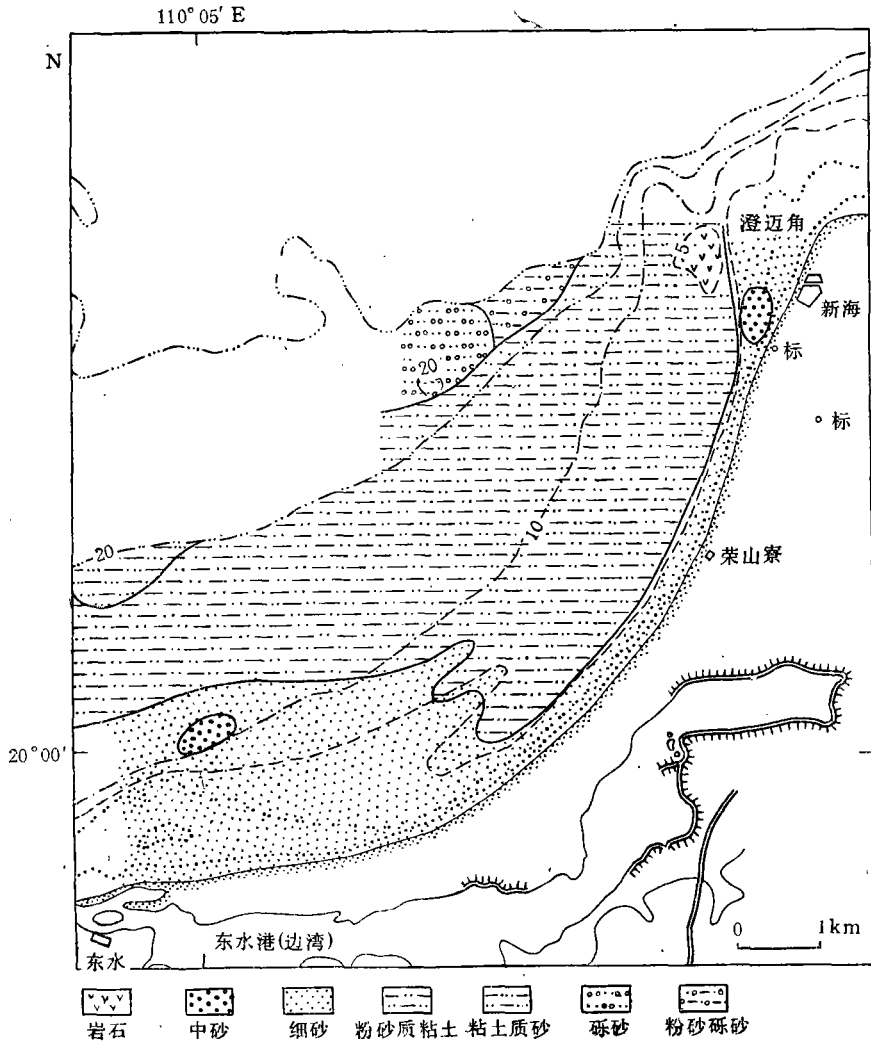


图 2 新海湾底质类型图

Fig.2 Distribution of the surficial sediment types in Xinhai Bay, Hainan Island

碎波带以溢波破碎形式衰减能量,抵达前滨时,冲流作用已相当有限。大量泥沙储于碎波带,主要地形为水下坝-槽,并可与其东面水下韵律坝相邻接。海滩难有持续存在的堆积地形,如滩肩和滩角等。海滩运动的主要控制动力是台风大浪时的冲越侵蚀过程,滩面、滩顶上留有明显的冲越迹线,而坝后潟湖内则堆积了巨大的冲越扇。

显然,这一巨大弧形沙坝海滩,其不同地段构成了丰富的空间排列有序的中间状态与消散性状态类型;而整个海滩的中间可以预计,随着海滩来沙减少,海滩将进一步朝着消散类型的主状态发展。

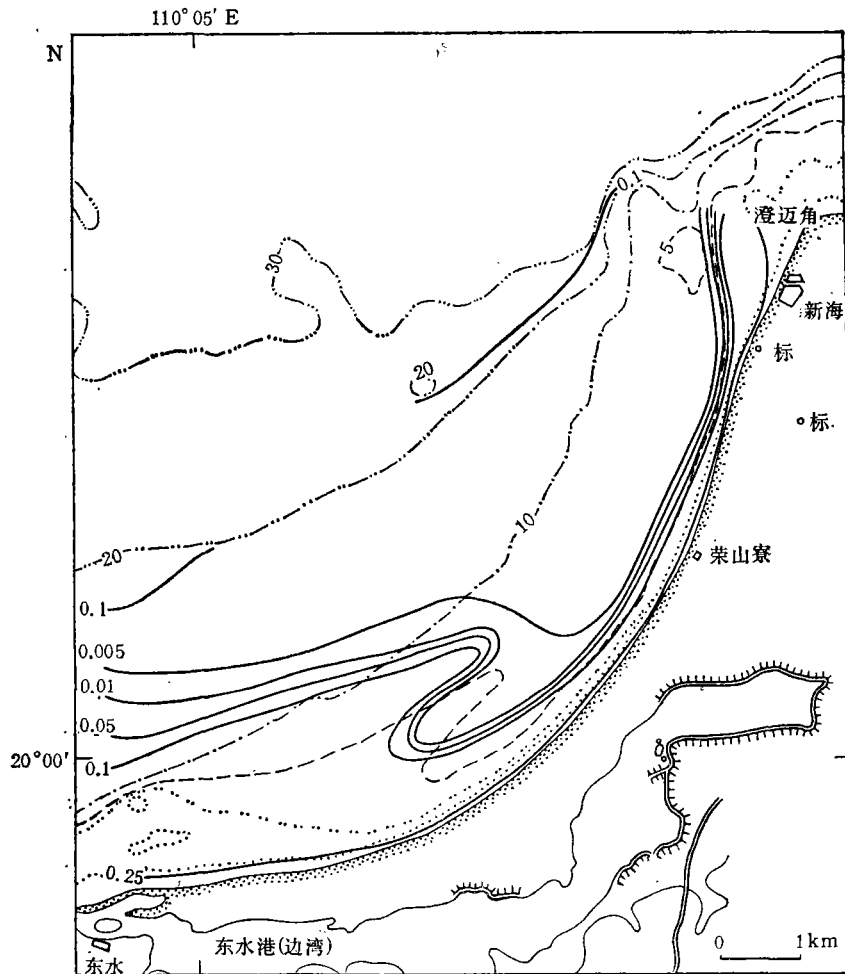


图3 新海湾表层沉积物中值粒径等值线图(单位: mm)

Fig.3 Isogram of median diameter of the surficial sediments in Xinhai Bay, Hainan Island (unit: mm)

### 3 海滩与近岸带泥沙纵向运动

**3.1 海滩泥沙粒度分布特征** 为了对比海滩沿岸泥沙粒度的变化,取海滩高潮冲迹线附近表层砂样分析了泥沙粒度参数。结果清楚地反映了有规律的变化特征。从第 I 地貌状态类型至第 IV 地貌状态类型,沿程平均粒径逐渐递增;四分位离差系数(分选系数)自

第 II, III 类型向两侧变好, 以三、四地段分选最好; 偏度同样从中间地段的正偏向两侧呈负偏变化。沿滩高潮冲迹线粒度的变化, 反映了各地段能量的差别, 这与上述海滩地貌状态的分析一致。各地貌状态类型的粒度参数平均值见表 1。

表 1 海滩地貌状态类型高潮冲迹线粒度参数  
Tab.1 Sand grain size parameters along the high-tidal swash line of every beach geomorphological state in Xinhai Bay, Hainan Island

粒度参数	I	II	III	IV
$Md_{\phi}$	1.52	0.88	0.46	0.40
$QD_{\phi}$	0.53	0.82	0.34	0.21
$SK_{\phi}$	-0.11	0.03	-0.03	-0.03

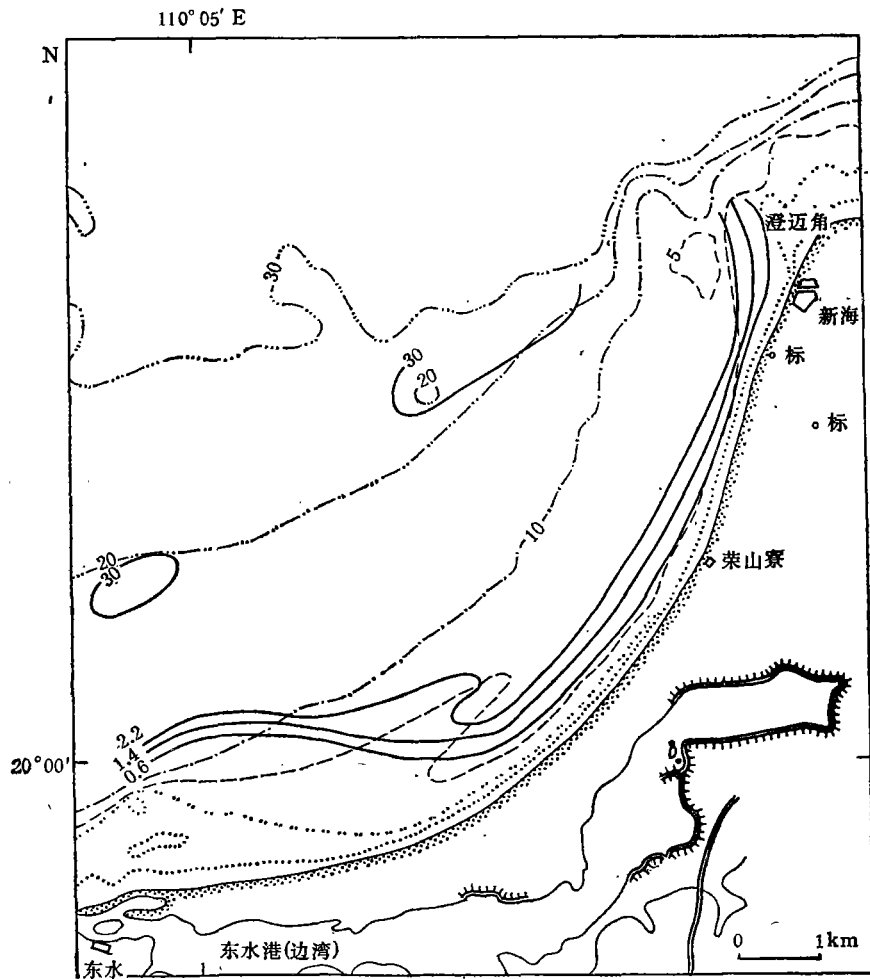


图 4 新海湾表层沉积物四分位离差分布等值线图(单位:  $\phi$ )  
Fig.4 Quartile deviation distribution of the surficial sediments in Xinhai Bay, Hainan Island (unit:  $\phi$ )

**3.2 近岸泥沙粒度特征和底质类型**根据现场采集的近岸水下表层样品所做的粒度分析结果和底质类型图(图 2)可看出,此海湾泥沙分布从近岸浅水区的砂粒级向近海的粉砂粘土递变;当水深超过 20m 后,又有向砂粒级的过渡现象。这种分布表明,以近岸波浪控制为主地带向递变悬浮的弱动荡沉积环境和海峡潮流冲刷环境过渡。近岸砂、泥界线在北部海区大致与 5m 等深线一致;南部海区,此界线从大于 10m 等深线向海湾中部与 5—10m 等深线延伸,形态上为指向湾中部的指状水下砂嘴。根据中值粒径和四分位离差分布等值线(图 3、图 4)推测,南部海区砂粒级物质分布态势受到波浪和潮流再搬运作用,其中,5—10m 等深线以潮流对底部冲刷再搬运为主,分选中等;5m 等深线以浅则以波浪掀动搬运为主,分选很好。

将目前海湾泥沙分布规律同 1970 年所做的调查<sup>1)</sup>比较表明,海湾北部砂粒物质基本上没有明显变化;南部海区砂粒物质则有较大差异。后者表现为:(1)砂粒级物质的细化,这有可能和北面砂减少,原堆积泥沙在近岸区反复搬运作用有关,也不排除潮流对底部冲刷带来的一部分细砂物质;(2)砂粒级物质在海湾南部的分布有向海湾中部扩展的趋势,反映在 5—10m 等深线细砂分布要较以前向海湾中部淤涨了约 1.5km,是现海岸泥沙动态的一个重要现象。

### 3.3 海岸泥沙纵向运动分析

**3.3.1 基本原理和计算方法**利用泥沙粒级分布特征来分析泥沙运动方式,沉积环境和搬运方向是海岸泥沙研究的重要方法(陈子葵,1991)。为此,应用 McLaren 等(1985)关于泥沙运动的粒级参数概率模型,对近岸区各岸段不同水深的泥沙作了搬运趋势及其能量背景的计算分析。其基本原理是:考虑在特定能量环境下,表层沉积物的粒级参数(平均粒径、分选系数和偏态)在搬运过程中发生有规律(概率意义上)的变化,模型即利用了沉积物参数变化组合推求在一定能量作用下泥沙的搬运方向。当选定一组有序样品时,存在着  $(n^2 - n)/2$  对可能显示某一方向搬运趋势和等数量对相反方向的趋势。当比较任一对样品(如  $d_1$  和  $d_2$  样品)粒度参数时,可有 8 种粒度参数组合来指示所选择的搬运方向。但经分析,其中只有两种组合具有指向意义。一为事件 B:低能搬运且能量递减,在此状况下,存在着  $d_2$  比  $d_1$  更细(F)、分选更好(B)和更负偏(-)的趋势;另一为事件 C:表示初时高能搬运,能量递减,在此状况下, $d_2$  比  $d_1$  更粗(C)、分选更好(B)和更正偏(+).因此,各种组合发生的概率为八分之一,即  $p = 0.125$ 。详细的数学推导和现场验证请参考文献(Mclaren et al., 1985)其具体计算方法是对一组选定的泥沙作 Z 得分检验,即对下面两种假设作 Z 得分检验:

假设  $H_0: P \leq 0.125$  不存在所假定的搬运方向。

假设  $H_1: P > 0.125$  存在所假定的搬运方向。

$$\text{当统计量 } Z = \frac{X - Np}{\sqrt{Npq}} > 1.645(0.05 \text{ 显著水平}) \\ > 2.33(0.01 \text{ 显著水平})$$

时接受  $H_1$  假设。式中, X 是两种相反搬运方向中某一方向在特定事件(B 或 C)下观察到的样品对数; N 是可能的同向搬运样品对的数量,  $N = (n^2 - n)/2$ , n 是样品总数;

1) 中山大学、南京大学联合调查队,1970,七〇五一工程动力地貌调查报告。

表 2 各组样品的基本情况

Tab.2 Basic conditions of the sand samples in each group in Xinhai Bay, Hainan Island

组数	样品数(个)	计算深度	计算范围	采样时间
1	12	海滩	澄迈角至荣山寮	1989年 <sup>1)</sup>
2	12	3m等深线以浅	同上	同上
3	11	海滩	澄迈角至荣山寮南约2km	1970年
4	10	3m等深线以浅	东水至荣山寮	同上
5	19	同上	澄迈角至东水	同上
6	9	3—5m等深线	同上	1990年

1) 广州水运工程设计研究室,1990,新海湾海岸动力地貌及泥沙回淤研究报告。

$$q = 1 - p_0$$

**3.3.2 计算结果与分析** 根据上述输沙方向和粒级分布特征变化之间关系的分析,对6组样品计算了不同情况下的泥沙搬运方向,各组样品的有关说明见表2。各组泥沙搬运方向计算结果见表3和图5。

计算结果表明,第一、二两组都反映了高能搬运环境下,海湾北部岸段泥沙向北搬运,这种搬运趋势在海滩沙样品上表现得更突出(99%置信水平)。追溯海岸前期主要动力背景,台风曾多次侵袭海南岛,当发展了偏西向大浪时,波高沿荣山寮以北海岸的不等分布可形成向北的沿岸流系,由此可造成高能输送条件下的泥沙分布特征。这种突发事件引起的沿岸泥沙运动对计划在此岸段修建港区的影响值得重视。

三至五组泥沙样品搬运方向计算结果说明,此海岸在正常波况下,即低能输送条件下存在着双向泥沙运动,尤其是从东水向荣山寮的沿岸搬运趋势的显著水平可达0.01。当考察整个海岸纵向搬运时,则表现出向南西的总趋势,但计算结果对北向运动

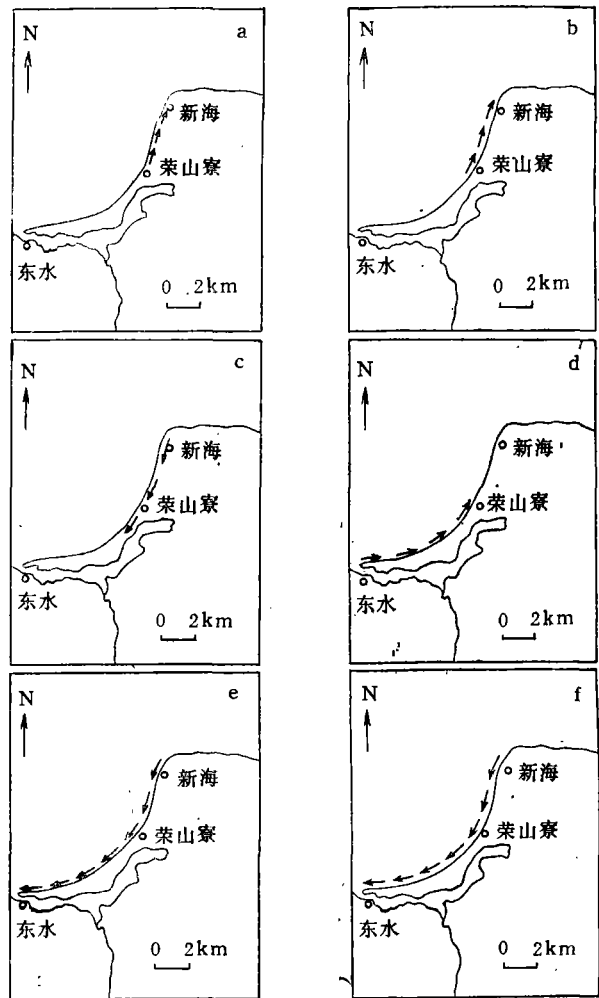


图 5 泥沙搬运方向

Fig.5 Directions of the sediment transport in Xinhai Bay, Hainan Island

a. 一组; b. 二组; c. 三组; d. 四组; e. 五组; f. 六组。

表 3 新海湾泥沙沿岸搬运趋势计算结果

Tab.3 Calculated results of the sediment longshore transport trends in Xinhai Bay, Hainan Island

第一组		趋势: SW	趋势: NE
事件B	F	N = 66	N = 66
	B	X = 1	X = 8
	-	Z = -2.70	Z = -0.09
事件C	C	N = 66	N = 66
	B	X = 8	X = 17
	+	Z = -0.09	Z = 3.26
第二组		趋势: SW	趋势: NE
事件B	F	N = 66	N = 66
	B	X = 2	X = 0
	-	Z = -2.33	Z = -3.07
事件C	C	N = 66	N = 66
	B	X = 0	X = 14
	+	Z = -3.07	Z = 2.14
第三组		趋势: SW	趋势: NE
事件B	F	N = 55	N = 55
	B	X = 11	X = 0
	-	Z = 1.68	Z = -2.80
事件C	C	N = 55	N = 55
	B	X = 5	X = 5
	+	Z = -0.76	Z = -1.58
第四组		趋势: SW	趋势: NE
事件B	F	N = 45	N = 45
	B	X = 4	X = 17
	-	Z = -0.73	Z = 5.13
事件C	C	N = 45	N = 45
	B	X = 7	X = 4
	+	Z = 0.62	Z = -0.73
第五组		趋势: SW	趋势: NE
事件B	F	N = 171	N = 171
	B	X = 47	X = 30
	-	Z = 5.93	Z = 1.99
事件C	C	N = 171	N = 171
	B	X = 19	X = 30
	+	Z = 0.55	Z = 1.99
第六组		趋势: SW	趋势: NE
事件B	F	N = 36	N = 36
	B	X = 9	X = 1
	-	Z = 2.27	Z = -1.76
事件C	C	N = 36	N = 36
	B	X = 3	X = 1
	+	Z = -0.76	Z = -1.76



仍然有所显示(表 3 第五组)。对海滩砂的计算也反映出海岸北半段泥沙在平均能量状况下以向南西运动为主。根据实地观察,1988 年在荣山寮村庄南面建造的一个突出海岸低潮线以下的抽水站,其北侧海滩向海淤长,其南侧海滩尽管北向来砂受阻,但海滩堆积形态依然鲜明(地貌状态类型 II)。南部海岸 5m 等深线形态也可反映近岸浅水区确实存在着北向泥沙运动特征。海岸泥沙的双向运动,显然是此海湾波浪年内平均分布状况和此弧形海岸不同岸段走向对波浪响应过程的制约。

第六组泥沙样品的运动方向计算也说明了砂粒级物质主要源于北部海岸,即使这些浅水地带泥沙可受到反向波生流甚至潮流的再搬运作用。

#### 4 结论

4.1 在现代海岸动力作用下,新海弧形海岸的过程和响应特征构成了 4 种主要海滩地貌状态。岸滩地貌主状态为中间状态类型。

4.2 近岸区能量的差异主要反映在,近岸砂泥分布界线北部海区出现在 5m 等深线,南部海区则向深水扩展。

4.3 常波况下现代海岸泥沙沿岸运动总趋势存在着双向运动。湾顶为双向来沙相汇处,整个海岸泥沙运动总趋势则以向西南为主。

4.4 在高能条件下,海岸北部地带的沿岸泥沙可出现与常波况下相反的向北运动的趋势。

4.5 海滩地貌状态与沿岸泥沙运动特征都反映了现代海岸的蚀积动态是:海湾两侧岸线是侵蚀段,湾顶海岸是堆积仍很活跃的地段。

#### 参 考 文 献

- 陈子燊等,1991,广东水东湾弧形海岸切线段海滩剖面的过程分析,海洋学报,13(1): 82—90。  
陈子燊、李春初,1990,弧形海岸中间过渡带海滩剖面的地貌动态分析,海洋科学,68: 6—12。  
陈子燊,1991,对应分析方法在粤西水东湾动力沉积环境分析的应用,热带海洋,10(1): 55—62。  
Bowen, J., 1973, Edge waves and the littoral environment, Proceedings of the 13th Coastal Engineering Conference (New York), pp. 1 313—1 320。  
King, C. A. M. and Williams, W. W., 1949, The formation and movement of sand bars by wave action, Geog. J., 113: 70—85。  
McLaren, P. and Bowles, D., 1985, The effects of sediment transport on grain-size distributions, J. Sed. Petrol., 55(4): 457—470。  
Short, A. D., 1978, Wave power and beach-stages: a global model, Proceedings of the 16th Coastal Engineering Conference (New York), pp.1 145—1 162。  
Wright, L. D., 1981, Beach cut in relation to surf zone morphodynamics, Proceedings of the 17th Coastal Engineering Conference (New York), pp. 978—986。  
Wright, L. D. and Short, A. D., 1984, Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis, Mar. Geol., 56: 93—118。

## GEOMORPHOLOGICAL TYPES OF BEACH AND THE CHARACTERISTICS OF SEDIMENTS LONGSHORE MOVEMENT IN ARC-SHAPED BAY OF XINHAI BAY, HAINAN ISLAND

Chen Zishen

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

### ABSTRACT

Based on field investigations in 1990 and some earlier observational data, this paper describes four beach geomorphological types characterized by the main coastal processes and associated beach geomorphological features in different sections of the arc-shaped bay of Xinhai of Hainan Island. The identified beach geomorphological types are protected dissipative type, ridge-runnel and low-tidal terrace type, rhythmic bar and beach type and open dissipative type.

Being consistent with the spatial distribution of geomorphological states, the wave energy of the nearshore increases from the northern zone to southern zone and the boundary between sand and mud extended from the five meter isobath of the north to the deeper water zone of the south. Use of a probability model of sand size parameters to analyze sediment longshore transport trends in different sections and depths of the shore, showed that a bi-direction movement trend exists under normal wave condition, and the primary trend of the sand longshore transport is southwestward. Under high energy condition, there is a northward sand movement along the northern section of the coast.

**Key words** Arc-shaped bay Beach geomorphological states Sand long shore movement trends Xinhai Bay in Hainan Island