

廉州湾重矿物组合区与泥沙来源*

Heavy Mineral Assemblies and Silt Sources in the Sediment of Lianzhou Bay

黎广钊 梁文 刘敬合

Li Guangzhao Liang Wen Liu Jinghe

(广西海洋研究所, 北海长青东路 92号, 536000)

(Guangxi Institute of Oceanography, 92 East Changqinglu, Beihai, Guangxi, 536000, China)

摘要 对廉州湾 50 多个沉积物样品 0.125~0.063 mm 粒级的重矿物 (比重大于 2.89 的碎屑矿物) 分析, 发现 3 个重矿物组合区: (1) 南流江口矿物区即电气石—锆石—钛铁矿—浅绿角闪石组合区; (2) 西南部大风江口矿物区即钛铁矿—电气石—锆石组合区; (3) 东南部北海港矿物区即电气石—钛铁矿—锆石—黑云母组合区。陆相径流 (南流江流域) 来沙是廉州湾的主要物源, 也有部分物源是来自南部海岸的侵蚀物质, 海相来沙是很少的。海湾泥沙运移总趋势是自东北向西南运移, 但南部沿岸泥沙自西南向东北运移。

关键词 海湾 重矿物 泥沙来源 泥沙运移

中图法分类号 P736.22

Abstract According to the outcome of analysis of 50 samples of the heavy minerals at 0.125~0.063 mm in size with specific gravity more than 2.89 in the sediment of Lianzhou Bay, three areas of heavy mineral assemblies are found (1) tourmalin-zircon-ilmenite-greenish hornblende assembly in the mouth of Nanliu river, (2) Ilmenite-tourmalin-zircon assembly in the mouth of Dafeng river, southwestern Bay, (3) tourmalin-ilmenite-zircon-biotite assembly in Beihai Harbor, southeastern Bay. The sediments carried by continental runoff (Nanliu river) are the main material sources for Lianzhou Bay. Some of materials come from the erosion of the southern coast. Silt from marine faces are quite few. The general trend of silt transport in Lianzhou Bay is from northeast to southwest, but southwest to northeast in the southern coast.

Key words bay, heavy mineral, silt source, silt transport.

廉州湾位于广西海岸中部, 北海半岛北面, 其湾顶东北部有广西沿岸最大的入海河流——南流江注入, 形似一个半弧形河口湾向西南敞开, 与北部湾相连 (图 1)。该湾由北海半岛西南端冠头岭岬角至大风江口东岸大木城村连线与沿岸围成的水域面积达 237 km²。海湾水深较浅, 0 m (黄海基准面起算) 至高潮线的潮间浅滩面积为 165.78 km², 占廉州湾水域总面积的 70%^[1], 深水位于海湾的南部北海港深槽区, 一般水深 5~8 m, 最大水深 10 m。作者根据野外现场调查、重矿物分析、水动力资料, 探讨廉州湾沉积物中重矿物组合特征与泥沙来源及其运移趋势。

1 区域地质地貌概况

廉州湾属于断陷河口湾。合浦隐伏大断裂呈东北向穿过该河口湾向北部湾延伸, 并伴随着次一级的东北向和东南向两组“X”型断裂构造控制着河口湾沿岸地貌及海底地貌的发育。研究海区沿岸发育有南流江三角洲平原、洪积冲积平原 (台地)、侵蚀剥蚀低丘、沙坝—泻湖、海积平原、砂砾滩、沙滩、海蚀崖、海蚀平台及海蚀洞等, 海底 (水下) 地貌有水下三角洲、潮流深槽、水下古滨海平原等地貌类型。

该湾的南岸岬角冠头岭一带, 出露志留系变质泥岩、泥质砂岩、砂岩, 东南和西北沿岸出露地层主要为第四系北海组、湛江组的砂砾层、砂层、粘土质砂层和砂质粘土层及志留系变质含砾砂岩、砂岩、页岩、泥岩, 北岸及东北沿岸为全新统三角洲平原相的砂砾

2001-09-17收稿。

* 国家自然科学基金资助项目 (49766013)。

层、砂层、粘土质砂、砂质粘土和淤泥层。

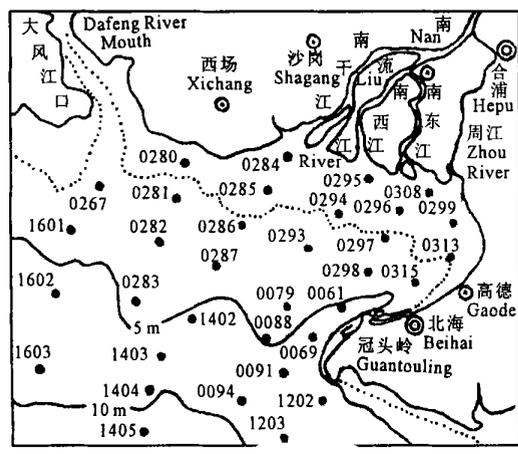


图 1 廉州湾取样站位

Fig. 1 Sampling spots in Lianzhou Bay

● 采样点 Sampling spot; - - - 平均低潮线 Average low tide line; 5m 等深线 Isobath

2 重矿物组合区

近 20 年, 国内外对河口、海湾、近岸浅海沉积

表 1 廉州湾沉积物中重矿物 (0.125~0.063 mm) 种类和含量 (%)

Table 1 Types and contents (%) of heavy minerals (0.125~0.063 mm) in the sediment of Lianzhou Bay

矿物区 Area	站点 Spot	I	T	Z	H	Le	Ana	Li	Mu	And	S	R	Mo	Ma	Pyro	Pyri	GH	Am	E	B	钛铁矿 / 电气石 + 锆石 (Ilmenite / (Tourmalin + Zircon))	重矿物组合 Heavy minerals assembly	指示矿物 Indication mineral	
南流江口矿物区 Mouth of Nanliu river	0284	36.0	15.0	22.0	7.0	10.0	7.0			0.3									0.4	0.3	0.97	电气石-锆石组合	没有 Non	
	0286	29.0	17.0	15.0	1.0	17.0	14.0			2.0		1.0	2.0						0.3		0.83	电气石-钛铁矿-浅绿角闪石组合		
	0287	23.0	23.0	18.0		21.0	8.0			1.0		0.4	3.0				0.3	2.0		0.6	0.56	Tourmalin-zircon-ilmenite-greenish hornblende		
	0299	27.0	15.0	25.0	14.0	6.0	4.0			4.0			5.0								0.68			
	0313	10.0	17.0	3.0	37.0	6.0				2.0								25.0				0.50		
	0315	6.0	8.0	5.0	12.0	4.0	1.0			1.0									63.0			0.46		
	0308	15.2	30.0	2.3		18.7	7.8			0.9				0.6					22.7	1.2	0.6	0.47		
	0294	24.1	46.6	7.8		8.2	8.9			1.7									15.9	4.9	2.9	0.44		
0293	23.8	36.5	11.0		1.5	2.3			1.2												0.50			
平均 Average		21.6	23.5	12.1	7.9	10.3	5.9			1.6			1.3					14.2	1.0	0.5	0.60			
西南部大风江口矿物区 Mouth of Dafeng river, southern Bay	1402	90.0	2.0	1.0	2.0	2.5	1.5														30.0	钛铁矿-电气石-锆石组合	砂线石 Silimanite	
	1405	52.0	36.0	1.0	1.0	9.0	0.5			0.2	0.3										1.41			
	1601	42.0	14.0	23.0		6.5	6.5						1.0	3.0				3.0	1.0		1.14			
	1602	64.0	20.0	2.0	2.0	5.0	2.0			0.8	0.6			2.0							2.91			
	1603	68.0	22.0	4.0		1.5	2.0			0.5	0.5			1.0							2.57			
平均 Average		63.2	18.8	6.2	2.6	5.5	2.5			0.3	0.3										7.61			
东南部北海港矿物区 Beihai harbor, southern Bay	0061	5.0	58.0	4.0	9.0			2.0	1.0	3.0					2.0						0.47	电气石-钛铁矿-锆石-黑云母组合	砂线石 Silimanite	
	0069	6.0	19.0	3.0	10.0			4.0	8.0	1.0	2.0			2.0	6.0	3.0				13.0	0.42			
	0079	8.0	20.0	5.0	12.0			6.0	2.0	1.0	2.0			4.0	2.0	11.0			5.0	36.0	0.08			
	0088	17.0	21.0	8.0	14.0			4.0	7.0		1.0			2.0	5.0				4.0	16.0	0.27			
	0091	5.0	61.0	3.0	4.0								2.0		1.0	2.0			2.0	20.0	0.32			
	0094	8.0	55.0	5.0	6.0								2.0		1.0	1.0			3.0	25.0	0.59			
	1202	25.0	23.0	30.0	2.0		3.0			0.4	0.5				2.0			15.0			0.08			
1203	22.0	37.0	15.0	14.5	6.5	2.0			1.0	0.2				1.0					0.3	0.5	0.13			
平均 Average		12.0	36.8	9.0	8.4			2.0	2.3	0.4	1.5		1.0	1.0	3.3	0.9			1.8	13.8	0.23			

I 钛铁矿 Ilmenite; T 电气石 Tourmalin; Z 锆石 Zircon; H 赤铁矿 Hematite; Le 白钛石 Leucocenes; Ana 锐钛矿 Anatase; Li 褐铁矿 Limonite; Ma 白云母 Muscovite; And 红柱石 Andalusite; S 砂线石 Silimanite; R 金红石 Rutile; Mo 独居石 Monacite; Ma 磁铁矿 Magnetite; Pyro 榍石 Pyromelane; Pyri 黄铁矿 Pyrite; GH 浅绿角闪石 Greenish hornblende; Am 透闪石 Amphibole; E 绿帘石 Epidote; B 黑云母 Biotite

物的研究^[2-5], 认为重矿物分析方法研究泥沙来源及其运移规律是行之有效的方法之一。沿岸母岩从被侵蚀切割或风化崩解到被搬运并形成碎屑沉积物, 经历了一个复杂的沉积动力过程。作者通过对廉州湾 5 多个沉积物样品 0.125~0.063 mm 粒级的重矿物 (比重大于 2.8 的碎屑矿物) 分析, 发现廉州湾海区沉积物中重矿物的百分含量一般为 0.5%~3.0%, 最大可达 7.0%, 最小 0.3%, 重矿物含量自陆向海逐渐增高, 在低潮线附近达到高值为 1.8%, 向海再度减少。经鉴定的重矿物种类有 2 多种, 现根据主要矿物和特征矿物种类、含量及其分布特点, 结合该湾不同的地貌单元和沉积环境及动力条件, 将该廉州湾海区划分为 3 个重矿物区及其相应的 3 种重矿物组合类型 (表 1, 图 2)

2.1 南流江口重矿物组合区

该区位于南流江河口三角洲前缘和部分前三角洲地区, 即为北海港深槽以北的广阔海域, 一般为水深小于 -5 m 等深线以内的浅水海区, 南流江口重矿物组合区主要矿物有钛铁矿、电气石、锆石、浅绿角

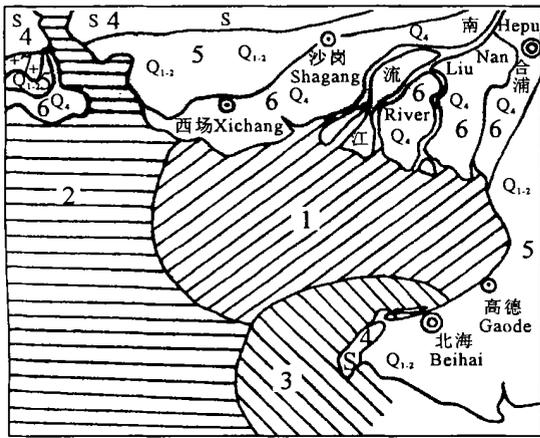


图2 廉州湾沉积物中重矿物组合分区图

Fig. 2 Distribution of heavy mineral assemblages in the sediment of Lianzhou Bay

1.南流江口矿物区即电气石—锆石—钛铁矿—浅绿角闪石组合区; Tourmalin—zircon—ilmenite—greenish hornblende in the mouth of Nanliu river; 2.西南部大风江矿物区即钛铁矿—电气石—锆石组合区; Ilmenite—tourmalin—zircon in Dafeng river, southwestern Bay; 3.东南部北海港矿物区即电气石—锆石—钛铁矿—黑云母组合区; Tourmalin—zircon—ilmenite—biotite in Beihai harbor, southeast Bay; 4.志留系变质岩; Metamorphic rock in Silurian; 5.第四系早、中更新统湛江组、北海组地层; Zhanjiang Group, Beihai Stratum in early and middle Pleistocene of Quaternary; 6.第四系全新统冲积海积地层 Alluvial and marine sediment in Holocene of Quaternary; 7.花岗岩风化体 Weathered granite.

闪石、白钛石、赤铁矿等,次要矿物有红柱石、独居石、锐钛矿、绿帘石、透闪石、黑云母等。矿物的平均含量见表1 钛铁矿与电气石、锆石之和的比值均小于1,其平均含量比值为0.61,属电气石—锆石—钛铁矿—浅绿角闪石组合。该组合中黑云母、白云母、绿帘石、透闪石等不稳定矿物含量很低或没有,这就说明稳定性矿物和迁移能力强的矿物含量较高,不稳定矿物含量低。南流江口海区重矿物组合与南流江河床沉积物中重矿物组合基本相似,同样是迁移能力强的稳定性矿物钛铁矿、电气石占优势,反映该区沉积物主要来源于南流江径流的输沙。

2.2 西南部大风江口重矿物区

该区位于廉州湾门口外西南部至大风江口海区。该区的重矿物组合类型较为简单,主要矿种为钛铁矿、电气石、锆石,次要矿种为白钛矿、赤铁矿,红柱石和矽线石及磁铁矿含量很少。矿物的平均含量见

表1 该重矿物区的特点是钛铁矿含量尤高,比南流江口矿物区钛铁矿含量高近2倍,比南部北海港矿物区钛铁矿含量高4倍以上。相反,电气石、锆石含量明显偏低,钛铁矿与电气石、锆石之和的比值均大于1(表1),为3个重矿物中比值最高的区域,最高达30,平均为7.61,属钛铁矿—电气石—锆石组合区。该组合区以含有标准变质矿物矽线石为特征,与南流江口矿物区明显不同。这表明其物源与南流江口物源区截然不同,其沉积物质主要来自大风江口上游及以西沿岸地区志留系变质岩层及花岗岩风化的陆源物质。

2.3 南部北海港矿物区

该区位于北海港深槽和深槽以东及以南海域。该区的重矿物种类较多,主要矿种有电气石、钛铁矿、锆石、黑云母、赤铁矿,次要矿种有白云母、楣石、褐铁矿、矽线石、磁铁矿、绿帘石、黄铁矿、红柱石、白钛石、锐钛矿等。矿物的平均含量见表1 属电气石—钛铁矿—锆石—黑云母组合区。该重矿物区的特点是: (1) 矿种丰富,比前两区多; (2) 钛铁矿平均含量明显低于西南部大风江口矿物区和南流江口区,相反,电气石平均含量明显高于前两区; (3) 片状矿物黑云母、白云母在该区大量出现,前者则很少或没有; (4) 标准的变质矿物矽线石出现普遍。这些组合特征反映了该区物质来源广而复杂。从该区的矿物种类特征分析,其沉积物既有来自南岸北海组、湛江组侵蚀物质的输入,又有来自冠头岭一带志留系区域变质和动力变质泥岩和砂岩的侵蚀物质的扩散,还有极少量南流江径流及海相带来的细粒物质。

3 泥沙来源

3.1 河流径流来沙

廉州湾入海河流主要有南流江、大风江,其次还有蜚港江、七星江等。其中南流江径流量最大,多年平均流量为 $56.1 \times 10^9 \text{ m}^3$, 多年平均悬移输沙量为 $118 \times 10^4 \text{ t}$; 大风江多年平均径流量为 $6.05 \times 10^9 \text{ m}^3$, 多年平均悬移输沙量为 $18.8 \times 10^4 \text{ t}$ 。两江年均悬移输沙量共为 $136.8 \times 10^4 \text{ t}$ 。根据华南沿岸入海河流径流推移质按悬移质的10%计,溶解质(即胶体微粒和离子)按悬移质的35%计^[6],两江年均输入推移质为 $13.68 \times 10^4 \text{ t}$,溶解质年均均为 $47.88 \times 10^4 \text{ t}$,这样,南流江和大风江输入廉州湾的细粒物质(粉砂、粘土和溶解质)总共为 $184.68 \times 10^4 \text{ t}$,粗粒泥沙为 $13.68 \times 10^4 \text{ t}$,这些泥沙为廉州湾的充填提供了主要物质来源。

廉州湾南流江口海区及大风江口海区沉积物中重矿物组合基本上与其上游河流河床沉积物中的重

矿物组合相似 (表 2)。从表 2 中可以看出,南流江河床和南流江口沉积物中钛铁矿 / (电气石+ 锆石) 的比值均小于 1, 属电气石—锆石—钛铁矿组合, 大风江河床和大风江口沉积物中钛铁矿 / (电气石+ 锆石) 的比值均大于 1, 属钛铁矿—电气石—锆石组合。显然, 这充分说明南流江口和大风江口海区的沉积物主要来自各条河流上游河流径流输入的物质

3.2 波浪侵蚀海岸来沙

根据野外现场第四纪地质地貌调查结果, 廉州湾东北部、北部海岸为南流江三角洲海岸, 西北部海岸为大风江河口海岸, 这些岸段由于自全新世中、晚期 (约距今 7000 年) 以来海面基本趋于稳定, 沉积速率超过海面上升速度, 河口三角洲逐渐向海进积前展。7000 年以来, 南流江三角洲已向外推进了 10~ 12 km, 约以平均 1.6 m/a 的速度向外生长^[7], 形成堆积海岸。然而, 廉州湾岸冠头岭至石步岭一带, 北海外沙至高德岭底一带属于侵蚀海岸。据当地老渔民介绍, 北海外沙沙坝海岸在 20 世纪 80 年代以前侵蚀相当严重, 沙坝上近岸的渔民房屋 (竹棚, 木棚) 搬迁多次, 20 世纪 80 年代后, 修筑了防波海堤才使其稳定。而冠头岭至石步岭及高德岭底岸段至今仍遭受波浪侵蚀, 导致冠头岭沿岸形成有 10~ 15 m 高的海蚀崖, 宽 30~ 80 m 的海蚀平台和沙砾滩及水下沙嘴; 高德岭底沿岸发育 6~ 7 m 高的海蚀崖和 500~ 1500 m 宽的潮间浅滩。上述岸段的侵蚀物质在波浪和潮流作用下, 为廉州湾南部北海港海区提供了一定数量的沉积物。在前述该海区沉积物重矿物种类组成中, 变质矿物矽线石普遍出现及片状矿物含量较高, 也反映该海区的物源较近而来自南部沿岸志留系变质岩及湛江组、北海组的侵蚀物质。

表 2 南流江、大风江河床及其河口区沉积物中常见重矿物的平均含量 (%)

Table 2 Average contents (%) of the common heavy minerals in the sediment of the riverbed and estuary area in Nanliu River and Dafeng River

地貌单元 Relief cell	钛铁矿 Ilme- nite	电气石 Tourm- alin	锆石 Zir- con	白钛石 Leuco- xene	锐钛矿 Ana- tase	独居石 Mona- cite	红柱石 Andal- usite	褐铁矿 Limo- nite	磁铁矿 Magne- tite	角闪石 Hornb- lende	绿帘石 Epi- dote	赤铁矿 Hema- tite	钛铁矿 / (电气石+ 锆石) Ilmenite / (Tourmalin+ zircon)	重矿物组合 Heavy mineral assembly
南流江河床 Riverbed of Nanliu river	27.04	18.55	12.42	11.32	7.70	2.83	1.89						0.87	电气石—锆石 —钛铁矿组合 Tourmalin —zircon-ilmenite
南流江河口 Mouth of Nanliu river	21.6	23.5	12.1	10.3	5.9	1.3	1.6			14.2	1.0	7.9	0.60	
大风江河床 Riverbed of Dafeng river	63.0	23.0	1.0	4.0	2.0			7.0		1.0			2.63	钛铁矿—电气 石—锆石组合 Ilmenite- tourmalin-zircon
大风江河口 Mouth of Dafeng river	63.2	18.8	6.2	5.5	2.5				1.2			2.6	2.53	

3.3 海相来沙

廉州湾海相来沙是指来自内陆架浅海的泥沙。内陆架浅海的泥沙运动取决于底质沙源的条件与波浪、潮流等海洋动力因素以及地形地貌等。廉州湾口门开阔, 西南向波浪作用较强, 波浪可以扰动海底泥沙使细粒物质处于悬浮状态而随潮流运移。本海区破浪带的平均破碎水深为 0.37 m, 最大波浪破碎水深为 2.90 m, 平均破碎波高为 0.31 m, 最大破碎波高为 2.30 m。在破浪带中, 波浪可以扰动 0.2 mm 粒级的泥沙, 临界推移水深为 3.0 m, 说明最低的低潮线以下 3.0 m 水深的沉积物同样能够被波浪扰动, 在波浪扰动作用下, 细粒物质产生悬浮并由涨潮流带入廉州湾内, 泥沙随涨潮流路径而入。在涨潮时, 东部南部潮流自东南绕冠头岭岬角向东北方向运动, 西部从西南向东北湾顶部汇聚, 这样随涨潮流带入廉州湾的粉砂、粘土、胶体和离子等细粒物质有一部分在湾内下降沉积和絮凝下沉, 而另一部分又随落潮流回到外海。然而, 在廉州湾表层沉积物的重矿物分析中, 很少发现自生海绿石、自生黄铁矿之类的指示海相来沙特征的物质。尽管湾内可以找到海相来沙的标志, 但代表海相来沙的物质数量很少, 这说明从外海带来的泥沙也很少。

4 泥沙运移

4.1 水体中悬沙浓度分布反映的泥沙运动

根据所采水体泥沙样品分析, 廉州湾的悬沙浓度平面分布特点是: (1) 南流江入海汊道口门附近为浓度高值区, 尤其是南干江至南西江一带河口区, 悬沙浓度高达 16.0~ 24.0 mg/L, 其等值线至河口区 24.0 mg/L 向西南湾口逐渐递减, 至冠头岭以西海域降至

最低,为 2.0 mg/L,仅为河口区的 1/12 (2) 水体中悬沙浓度是南部海域低于北部,如南部冠头岭—地角—高德—岭底沿岸北海港深槽一带海区水体中含沙量为 2.0~4.0 mg/L; 而北部西场—沙岗一带含沙量高达 12.0~24.0 mg/L; 湾中部含沙量为 8.0~16.0 mg/L。廉州湾水体中含沙量分布呈从东北向西南和自北向南呈递减的趋势。

悬沙浓度变化及其输移扩散主要取决于径流输沙水量的大小、风浪流、潮流、水下地形等各种动力因素。在洪水期间,径流量大,水体悬沙浓度高,野外海上现场考察最为明显。廉州湾浅黄色的悬沙浑浊水体在落潮时自河口区向湾口门外运移扩散,涨潮时自湾口门外向湾内汇聚。从动态特征分析,南流江径流携带来的悬浮泥沙大部分输移到廉州湾北面水下三角洲大浅滩聚积,少部分随落潮流和东北向风浪向西南方向输移到湾口外海域,最远可扩散到湾口外数千米,即 5~10 m 水深海区范围。涨潮时,分布在湾口外海域的悬浮泥沙又被重新带入湾内,从而使在落潮时失去的泥沙又在涨潮时得到补充。然而,廉州湾南部北海港深槽区在洪水期形成一条蔚蓝色的明显清水带,而在湾口处西南部海域的清浊水分界线不明显。这也表明南流江径流输入的悬沙输移的总趋势是向西南的,浑浊水体自东北河口区向西南海域输移扩散。

4.2 某些重矿物比值的沿程变化反映的泥沙运移

重矿物颗粒在水动力作用下的输移过程中,由于其本身比重的不同而发生分异,依次沉积。因此,可以根据某种重矿物分异作用的原理来探索廉州湾海区的物质途径。廉州湾内区域自南流江河床→潮间带上部→潮间带下部→潮下带→湾口附近沉积物中电气石与钛铁矿的比值相应为 0.69→1.98→1.93→1.54→1.0(表 3) 其中,在潮间带上、下部比值最高,说明南流江的输移物中,比重较小的物质在潮间带上、下部大量沉积。此外,锆石与钛铁矿的比值沿程变化是 0.46→0.15→0.32→0.46→0.78 等,一种矿物的比重相当接近,其比值均小于 1,波动不大。这种在潮间带上、下部比值较低,而在河床、潮下带及湾口门附近的比值较高的特点与电气石与钛铁矿之比形成鲜明对照。说明在南流江输入物质中,比重较大的物质主要沉积在河床、潮下带至湾口门附近地区,同时反映河床、潮下带及湾口门附近区域的水动力作用活跃,物质分选好,轻者去,重者留的特征。由上述可见,南流江河流输出物可被潮流和径流运移至廉州湾口门之外海区。

表 3 南流江河口湾(廉州湾)电气石与钛铁矿和锆石与钛铁矿的比值沿程变化

Table 3 Courses of change of ratios of tourmalin to ilmenite and zircon to ilmenite in the estuary of Nanliu river (Lianzhou Bay)

沉积区域 Area	站位 Spot	电气石/钛铁矿 Tourmalin/Ilmenite	锆石/钛铁矿 Zircon/Ilmenite
河床 Riverbed	C-2	0.69	0.46
潮间带上部 Upper part of tidal zone	0308	1.98	0.15
潮间带下部 Under part of tidal zone	0294	1.93	0.32
潮下带 Subtidal zone	0293	1.54	0.46
湾口附近海区 Area around mouth of Bay	0287	1.0	0.78

4.3 沿岸动力地貌反映的泥沙运移方向

廉州湾南部北海半岛绕过冠头岭形成有一水下沙嘴,指向东北,显示泥沙沿岸向东北运动。北海外沙实际上是自地角向东北延伸的沙嘴,其泥沙沿岸向东北运移,高德岭底一带的海岸侵蚀物,部分向东北运移,形成草头村沙嘴,另一部分向西南沿程搬运,形成高德外沙沙嘴。

致谢

重矿物的部分样品由上海同济大学李萍老师鉴定,谨此致谢。

参考文献

- 刘敬合,黎广钊.廉州湾海底及周边地貌特征.广西科学院学报,1992,8(1): 68~76.
- 陈丽蓉,栾作峰,郑铁民等.渤海沉积物中的矿物组合及其分析规律的研究.海洋与湖沼,1980,11(1): 46~63.
- 吴文中,赵焕庭.从沉积物的矿物分析论珠江河口湾伶仃洋的泥沙来源.热带海洋,1982,1(2): 97~110.
- 陈丽蓉,张秀荣.北部湾沉积物中矿物组合及其分布特征.海洋学报,1986,8(3): 340~346.
- 李萍,叶维强.北部湾北部浅海表层沉积物的重矿物研究.热带海洋,1987,6(3): 39~47.
- 王文介.华南入海河流泥沙及其对海岸和陆架的影响初探.泥沙研究,1986,(4): 27~36.
- 孙和平,业治铮.广西南流江三角洲沉积作用和沉积相.海洋地质与第四纪地质,1987,7(3): 1~13.

(责任编辑:蒋汉明)