

防城湾沉积过程及不同沉积环境下的 的粒度分布特征*

李凡 林宝荣 张秀荣 周天成 李本兆

(中国科学院海洋研究所)

沉积物的粒度成分是反映沉积作用、沉积环境、特别是沉积动力条件最明显的标志之一,因而,研究现代沉积物粒度成分的空间分布及其在不同沉积环境下的粒度分布特征,探讨其形成机制等,一直吸引着有关学者的注意。

近二十年来,有些学者曾据沉积物的粒度参数特征,区分了现代风砂、河沙和海滩砂等不同的沉积环境^[3-5],有的进一步将海滩砂区分为前滨、后滨等次一级环境^[6]。实际上,在近岸带和河口区,地貌类型和沉积环境非常复杂,在不同的地貌单元和沉积环境下,沉积物的粒度成分具有各自不同的分布特征。本文根据防城湾的沉积调查资料,对湾内沉积物的沉积过程及其在不同沉积环境条件下的粒度分布进行了探讨。

目前,粒度参数的计算方法众说纷纭,Folk曾作过专门评论^[2],故不赘述,仅据其公式进行计算。

一、表层沉积物分布

1976年,我们在广西防城港湾采集了400多个表层沉积物样品,北从防城河河口,南至湾口外水深15米处沿海。样品按照温氏粒级标准进行了机械分析,并绘出了平均粒径(M_z)等值线图(见图1)。

从图上可看出,防城河河口至仙人桥之间, M_z 为 1ϕ , 2ϕ 和 3ϕ 的等值线,成舌状向海突出。防城河河口样品的粒径最粗,向南逐渐变细。其间夹有粗粒和细粒沉积物的斑块。这里是防城河现代河口三角洲区。仙人桥附近,有 0ϕ 和 1ϕ 等值线圈闭出现,因这里海底坡度较陡,位于现代河口三角洲前缘,沉积物颗粒较粗;仙人桥南至牛头岭之间, M_z 为 $3-4\phi$,是湾内细粒物质集中的地区。牛头岭以南, M_z 等值线基本上沿等深线延伸,其中, 1ϕ 等值线的走向,基本上和主水道一致。这里分布着粒径为 $1-2\phi$ 的中砂,水道内尚有 $0-1\phi$ 等值线构成的粗砂长条状斑块。 2ϕ 等值线大致上沿海滩和水下浅滩的边缘延伸,其上分布着 $2-3\phi$ 的细砂。三牙石以南, 3ϕ 和 4ϕ 等值线呈弧形向南突出,其走向大致与 -5 米和 -10 米等深线一致。 3ϕ 等值线,基本上与防城河古河口三角洲边缘重合。由此向南,颗粒渐细。

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第683号。

本文承吴崇筠教授审阅全文,广西交通局叶泽民、颜宝、陈强等同志参加机械分析工作,图由本所蒋孟荣、严理、张弘等同志清绘,谨致谢意。

本刊编辑部收到稿件日期:1979年5月10日。

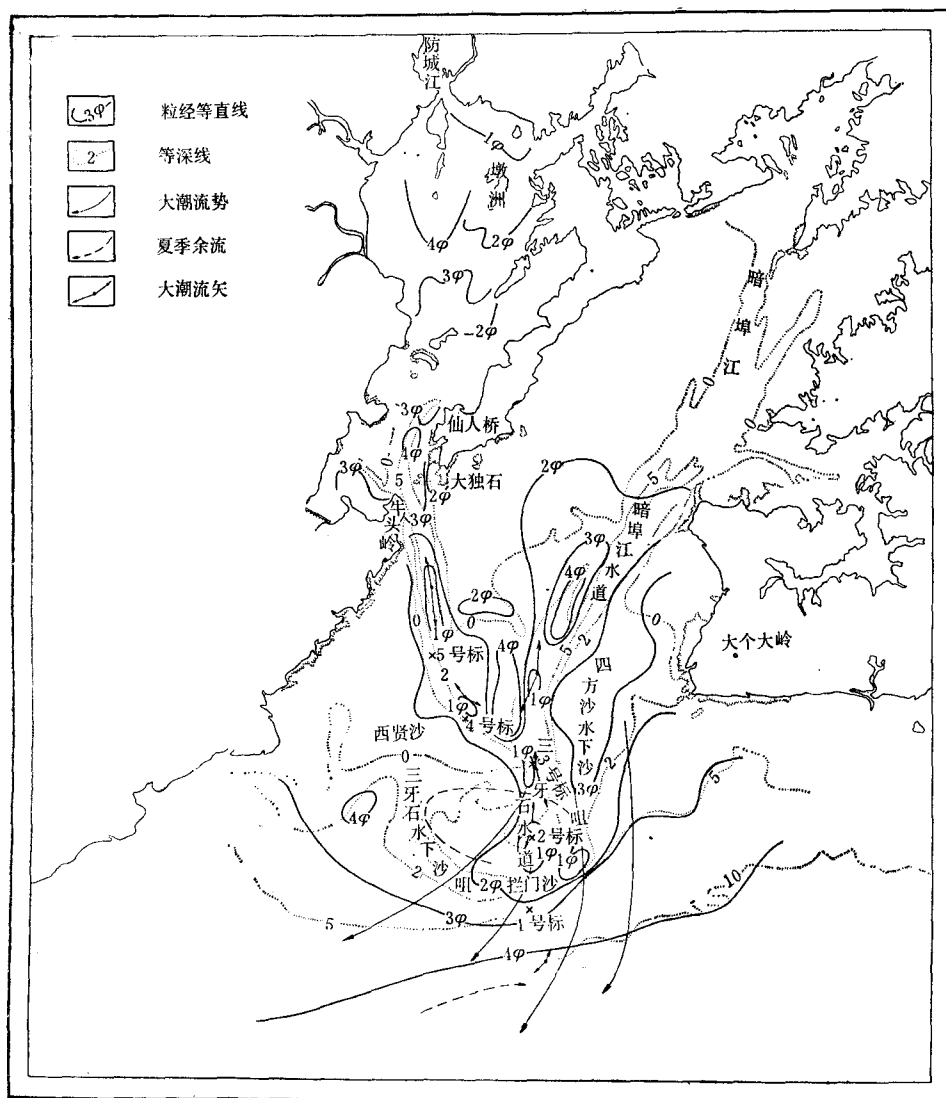


图1 防城湾海底沉积物平均粒径等值线图

从图中可以看出,粗粒沉积物主要分布在水道中,细粒沉积物则在湾内外水体相对稳定的地区。此外,水道边缘尚见有局部细粒物质的条带,其形成可能与主流一侧缓慢的副流作用有关,因而,沉积物的粒度分布除与其物质来源有关外,还可以看作是水动能大小的函数。从湾内沉积类型分布的格局来说,呈现出不规则的斑块状分布。

二、物质来源

调查区的沉积物基本上是碎屑物质,其中主要是防城河输入的泥沙。此外,湾口地区也有毗邻陆地上的小河输沙及沿岸侵蚀物质的输入。防城河年平均流量 10.6 亿立方,输沙量 26 万吨,主要集中在夏季洪水季节。泥沙入海以后,在搬运过程中,由于颗粒大小和

比重的不同而分异。显然,其搬运距离是介质的流速、泥沙粒径及其比重的函数。

从防城河河口三角洲上主河床向湾外,顺次选取表层沉积物样品,根据其粒级的百分含量,绘出沉积物沿程粒度变化综合频率曲线(图 2)。

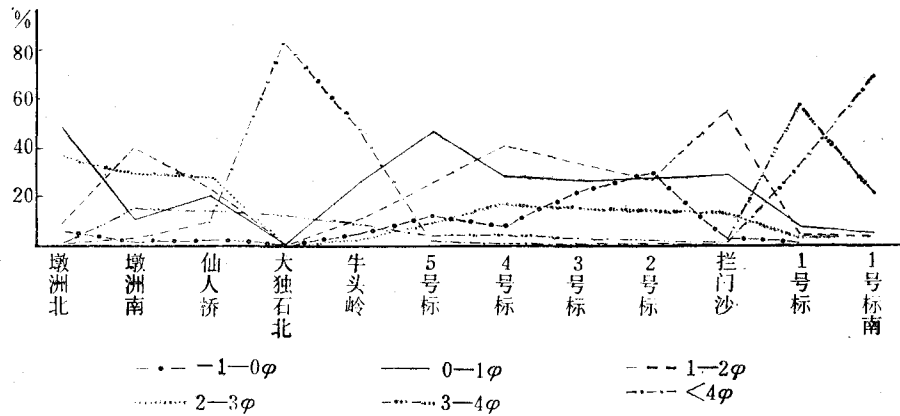


图 2 综合频率曲线

从图 2 上可以看出,粒径大于 1ϕ 的粗组分,在墩洲以北的现代河口三角洲顶部,其含量大于 50%,由此向南,随搬运距离的增加,含量迅速减小,至大独石以北几乎为零。粒径为 $1-2\phi$ 的中砂粒级的含量,也从 30% 降至 1% 左右。而在牛头岭以南的水道中,粗粒组分复又增加。粒径小于 4ϕ 的细粒物质则相反,它们在河口区的含量很低,至仙人桥以南,急增至 80% 以上,而在牛头岭以南的水道内,其含量又降至 5% 以下。上述之粒度成分的沿程变化说明,防城河输入的泥沙中,粗粒组分主要沉积在仙人桥以北的现代河口三角洲区,牛头岭以南的粗粒沉积则属另一成因。

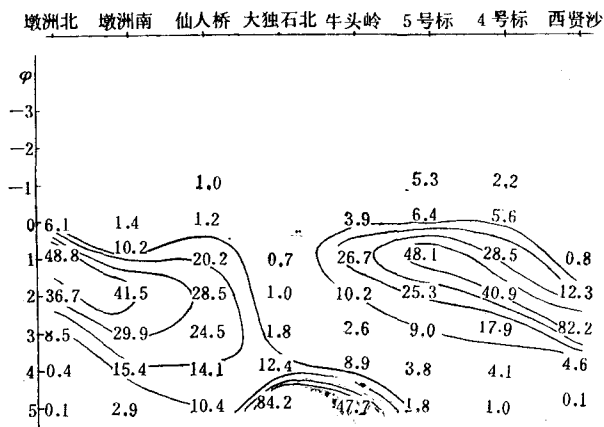


图 3 粒度谱图

用 Dowling 提出的粒度谱图^[1]进行分析,也将得出同样的结果。

自防城河河口沿主河床往南,经过大独石往西贤沙作剖面,并以此为横座标,分别标出沿程各测点的位置,取沉积物的粒度大小为纵座标,在纵、横座标的交点上,记入相应粒级的频率,然后作频率等值线,则得粒度谱图(图3)。从该图中可以看出,自防城河河口向大独石方向,优势粒级的直径逐渐减小。仙人桥附近,由于岸边陆源物质的掺入,粗粒物质的含量稍有回升,但总趋势未改变。另一粗粒级高含量区,位于西贤沙北面的4,5号标的水下潮流冲沟内,与前一高含量区遥遥相对,说明它们是两套来源或成因不同的沉积。

研究表明,牛头岭以南的沉积物,也是防城河输入的物质,但其形成时代与前者不同,它们是在早期低海面时期内形成的。目前的西贤沙、三牙石水下沙咀和四方沙水下沙咀等,皆是被淹没的古防城河河口沙质堆积体,经过后期水动力作用的改造,逐成今势。故其成因应属变余沉积(palimpsest)。

三、不同沉积环境下的粒度分布特征

沉积环境往往是与一定的地貌类型相联系的,但不同的地貌类型有时也可能具有相似的沉积环境,从而形成了相似的沉积物粒度分布。调查区内,按其地貌形态,可分为河口三角洲、海滩、水下浅滩、水下潮流冲沟及湾口前浅海区等类型,其上,沉积类型及其粒度分布,粒度参数特征等各不相同。河口三角洲区较复杂,需专门讨论,现仅就后四种类型分述如下。

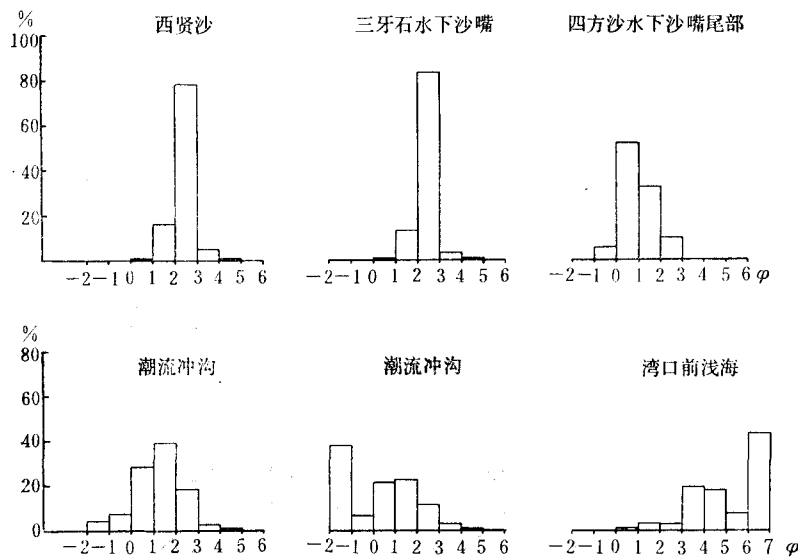


图4 不同沉积环境下沉积物粒级频率直方图

海滩 主要指暗埠江西侧的海滩和西贤沙。暗埠江西侧的海滩平坦开阔,平均坡度小于0.1%,宽1.0—1.5公里。这里,除了靠近水道的地区受潮流影响稍大外,其余均以海浪作用为主。西贤沙目前虽然与岸隔离,但高潮时被海水淹没,低潮时露出,经常处于海浪或激浪流作用下,动力条件与海滩相似。大风浪期间,激浪流流速可达1米/秒以上,水体涡动强烈,沉积物能得到充分簸选。这里分布着分选良好的细砂,其中粒径为2—

3 ϕ 的细砂粒级占 70—90%，呈典型的单峰曲线(图 4)。 M_z 多为 2.1—2.5 ϕ ，其边缘可达 3 ϕ ，平均为 2.316 ϕ ，标准离差 σ 多为 0.4—0.7 之间，平均 0.499，按 Folk 的分级标准可称分选好。由于海浪的簸选作用，使细粒物质流失，故多为负偏态，但在其边缘或局部的凹地中、小沟内，也有因细粒物质的混入而表现出正偏态沉积。本区之 S_K 值多在 -0.1—+0.3 之间，平均为 -0.075，峰态值 K_G 为 1.094。这类沉积物频率累积曲线的特征是：坡度陡，两端延伸短，曲率大，累积频率在 16—84% 之间的线段的斜率为 2.75 (约为 70°) (见图 5)。

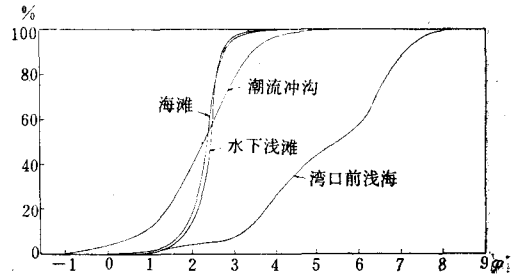


图 5 不同沉积环境下的粒级累积频率曲线

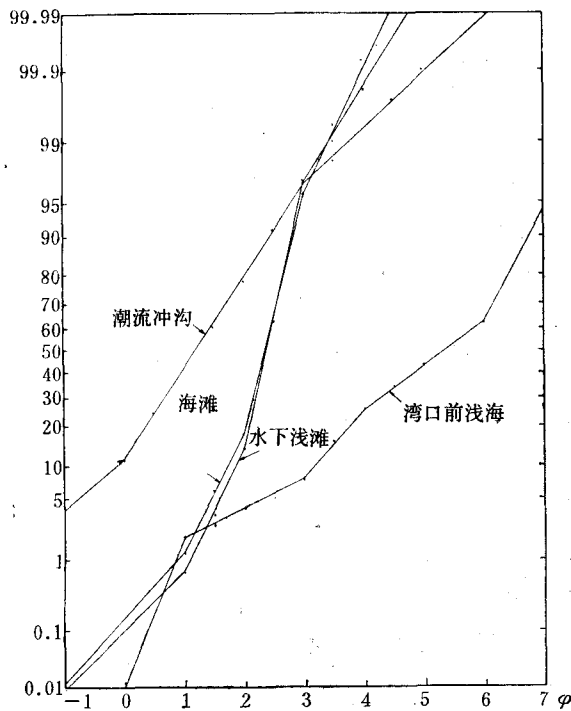


图 6 不同沉积环境下沉积物粒级概率曲线

概率曲线上，可以见有发育良好的跃移群(图 6)，其粗端多在 1 ϕ 处截断，细端多在 3 ϕ 处截断。它们之中又可分为两个亚群，与一般海滩砂粒度分布的特征类同。推移群的含量一般小于 2%，悬移群含量小于 5%。

水下浅滩 主要指三牙石水下沙咀和四方沙水下沙咀。它们目前皆被淹没于水下，低潮时，水深 2—3 米，是淹没的古河口沙咀。本区波能的合成方向为 174—177°， ≥ 3 级海浪(波高 0.8—1.2 米)的合成方向为 181—183°，即与湾口近于垂直，从而使上述两沙咀向左右延伸，衔接而成湾口沙坝。但由于潮流进出的冲刷，在沙坝上产生一低洼的冲沟，成为勾通湾内外的主要潮汐通道。这里的水动力条件以海浪作用为主，潮流次之。按海浪作用水深计算，三级海浪(在本

区，平均波高 $\bar{H} = 1.18$ 米，平均周期 $\bar{T} = 4.55$ 秒)所产生的平均水分子轨道速度 U_m 可达 1.02 米/秒，大于细砂的扬动流速(0.5—0.9 米/秒)，故能使部分沙粒扬动而悬浮，粉砂、粘土颗粒更飘移远去。按实测资料统计， ≥ 3 级海浪的年出现频率为 28%，如考虑到潮汐作用的影响，则一年内约有 1/4—1/5 的时间，水下浅滩上的泥沙处于活动分异状态。此外，这里大潮的最大流速也达 0.5 米/秒以上。由海浪引起的振荡性水流作用，加上潮流的影响，有利于沉积物的分选，因而，这里也形成了分选良好的沙质沉积。三牙石水下沙咀上为细砂，其中粒径为 2—3 ϕ 粒级的含量占 70—90%，呈单峰曲线(见图 4)， M_z 为 1.5—2.5 ϕ ，平均 2.156 ϕ ， σ 多为 0.5—0.8，平均 0.579，负偏态至正偏态，其变幅较大，盖因其

水深变化和局部地形的影响所致。 S_K 平均 -0.110 , K_G 平均 1.095 。其频率累积曲线和概率曲线特征和上述海滩砂一致(见图 5, 6), 显然这是由于水动力特征基本相似的结果。

在四方沙水下沙咀上, 沉积物粒度分布特征与前者基本相同, 但由于某种原因, 沙咀头部, 粗粒级物质的含量增多, M_z 只有 0.983ϕ , 形成了粗、中砂斑块。它们与水下潮流冲沟内的粗粒沉积浑然一体指向西部, 显示出在某些大风浪期间, 部分粗粒物质有向西移动的趋势。这些沉积物分选性差, σ 为 0.920 , S_K 为 0.830 , K_G 为 0.930 。

水下潮流冲沟 指暗埠江水道, 西贤沙水道, 三牙石水道等, 其中以三牙石水道最典型。这里, 海底近于槽形, 水深大于 10 米, 沟内为往复流, 平均大潮潮流流速 $0.7-0.8$ 米/秒, 有时落潮最大流速大于 0.9 米/秒, 沟底明显受到冲刷。由于局部地形的影响, 此区海浪也大, 海水涡动强烈, 对沟内沉积物之粒度分布也有一定影响。这里的沟底, 常出现粗砂、砾石和卵石, 并杂以大量的贝壳及其碎屑, 分选差。

通常, 水下潮流冲沟内之沉积物, 由于细粒物质被冲走而普遍粗化。 M_z 多为 $0.5-1.5\phi$, 平均 0.997ϕ , 分选中等至差, σ 为 $0.8-1.5$, 平均 1.005 , 分布近于对称。 S_K 平均为 0.024 , K_G , 0.870 。其频率累积曲线的坡度小于海滩砂, 但却大于下述湾口前浅海沉积物。累积频率在 $16-84\%$ 之间的曲线的斜率为 1.73 (约 60°)。在概率曲线上也见有三个群, 推移群含量约为 10% , 与跃移群的界限多在 0ϕ 处, 分选性差; 跃移群在 $0-3\phi$ 间, 斜率 1.434 (55°); 悬移群含量一般小于 5% (见图 4-6)。

湾口前浅海区 这里, 海底地形坡度平缓(小于 0.1%), 虽然海面宽阔, 大浪出现频率相对较高, 但是, 由于水深较大, 故其底层海水的紊动强度不大。例如, 上述之三级海浪, 其平均水分子轨道速度 U_m 在水深 10 米处仅为 0.12 米/秒, 因涨潮作用水深增至 13 米时, U_m 只有 0.07 米/秒了。同时, 这里底层潮流流速一般不大于 0.1 米/秒, 湾内因为海浪的簸选, 流水的冲蚀, 或汛期洪水携带的细粒物质来到此处, 便因水体相对稳定而沉积, 偶有粗粒物质的混入, 也难以再次分选, 故其沉积物粒度分布特征是细而分选差。 M_z 多为 $5-6\phi$, 平均 5.507ϕ , σ 平均 2.501 , 正偏态, S_K 平均 $+0.208$, K_G 平均 0.79 。其频率累积曲线之坡度小, 相应的斜率为 $0.84-1.19$ ($40-50^\circ$), 并且有时呈波状。在概率曲线上可以看到三个分选差的群。其中, 推移群含量一般不大于 8% , 其细端的截点多在 3ϕ 附近, 坡度约 25° ; 跃移群多在 $3-6\phi$ 间, 斜率 0.855 (约 41°); 悬移群含量多大于 30% , 主要是粘土颗粒(见图 5, 6)。

综上所述可以看出, 在不同地貌条件下, 沉积物的粒度分布特征亦有所不同, 但若其沉积动力条件相似, 则粒度分布特征亦类同。海滩、水下浅滩都是在海浪的不断作用下, 受较强的振荡性水流作用控制, 沉积物一般皆为分选良好的中砂、细砂, 负偏态, 累积频率曲线在 $16-84\%$ 之间的斜率大, 坡度大于 65° 。在概率曲线上见有发育良好的跃移群, 而推移群、悬移群的含量很少。水下潮流冲沟区, 以潮流作用为主, 海浪次之, 水介质的簸选作用较前者差。沉积物一般粗而分选差, 粒度分布近于对称, 累积频率曲线相应线段上的斜率小, 坡度 60° 左右。在概率曲线上, 推移群含量增多, 而且与跃移群之间的界限较前者为粗。湾口前浅海区, 水深大, 水动能弱, 沉积物细而分选差, 多为正偏态, 累积频率曲线相应线段上的坡度仅 $40-50^\circ$, 概率曲线上, 悬移群的含量增多。

现将各地貌单元上沉积物粒度参数列入表 1, 以兹比较。

表 1 不同地貌单元上沉积物粒度参数特征

地貌名称	样品数	M _x		σ		S _K		K _G	
		范围	平均	范围	平均	范围	平均	范围	平均
海滩	17	2.000 —2.817	2.316	0.377 —1.061	0.499	-0.328— +0.297	-0.075	0.742 —1.359	1.094
水下浅滩	12	1.600 —2.667	2.156	0.393 —0.920	0.579	-0.394— +0.298	-0.110	0.913 —1.387	1.095
水下潮流冲沟	17	0.443 —1.677	0.997	0.653 —1.582	1.005	-0.192— +0.633	+0.024	0.336 —1.243	0.870
湾口前浅海	12	4.147 —6.083	5.507	1.735 —2.618	2.501	+0.099— +0.635	+0.208	0.605 —0.951	0.790

表 2 不同沉积环境下沉积物粒度参数间的差异

M _x				σ			
\bar{x}_4	5.507	\bar{x}_4		\bar{x}_4	2.358	\bar{x}_4	
\bar{x}_1	2.316	3.191**	\bar{x}_1	\bar{x}_3	1.005	1.353**	\bar{x}_3
\bar{x}_2	2.158	3.349**	0.158	\bar{x}_1	0.599	1.759**	0.406
\bar{x}_3	0.997	4.510**	1.319**	1.161	\bar{x}_2	0.579	1.779**
							0.426
							0.020

σ*				S _K			
\bar{x}_4	2.501	\bar{x}_4		\bar{x}_4	+0.208	\bar{x}_4	
\bar{x}_3	1.236	1.265**	\bar{x}_3	\bar{x}_3	+0.024	0.184	\bar{x}_3
\bar{x}_2	0.561	1.940**	0.675**	\bar{x}_1	-0.075	0.283*	0.099
\bar{x}_1	0.499	2.002**	0.737**	0.062	\bar{x}_2	-0.111	0.319**
							0.135
							0.036

K _G			
\bar{x}_2	1.095	\bar{x}_2	
\bar{x}_1	1.094	0.001	\bar{x}_1
\bar{x}_3	0.866	0.229	0.228
\bar{x}_4	0.788	0.307*	0.306*
			0.078

表中样品数 n = 11, σ* 中 n = 7。

- x₁——海滩环境;
- x₂——水下浅滩环境;
- x₃——水下潮流冲沟环境;
- x₄——湾口前浅海环境;

* 显著性水平为 5%，差异显著;

** 显著性水平为 1%，差异很显著。

为了进一步对比本区不同地貌单元上沉积物粒度参数之间的差异,我们用方差分析和多重比较的方法进行了计算。

令 x_1 为海滩砂, x_2 为水下浅滩砂, x_3 为水下潮流冲沟沉积, x_4 为湾口前浅海沉积。每种地貌类型上取 11 个样品,计算结果如表 2 所示。

从表 2 可以看出,对于 M_z , x_1 和 x_2 之间无差异,但它们与 x_3 , x_4 之间差异却很显著,而且, x_3 , x_4 之间的差异也很显著。

对于标准离差 σ , x_4 与 x_1 , x_2 , x_3 之间差异很显著,而后三者之间无明显差异。实际上,后三者之间差异不明显的原因,主要是受取样代表性差的影响。因为,水下浅滩的下部和上部,其水动力条件有很大不同。若只取其典型地貌部位上的沉积物进行计算,如表 2 中之 σ^* ,则可看出, x_1 和 x_2 相似,而与 x_3 , x_4 表现出了很显著的差异, x_3 与 x_4 之间同样如此。

对于偏态 S_K , 仅 x_1 , x_2 与 x_4 之间有差异或差异显著,其余均无显著差异。

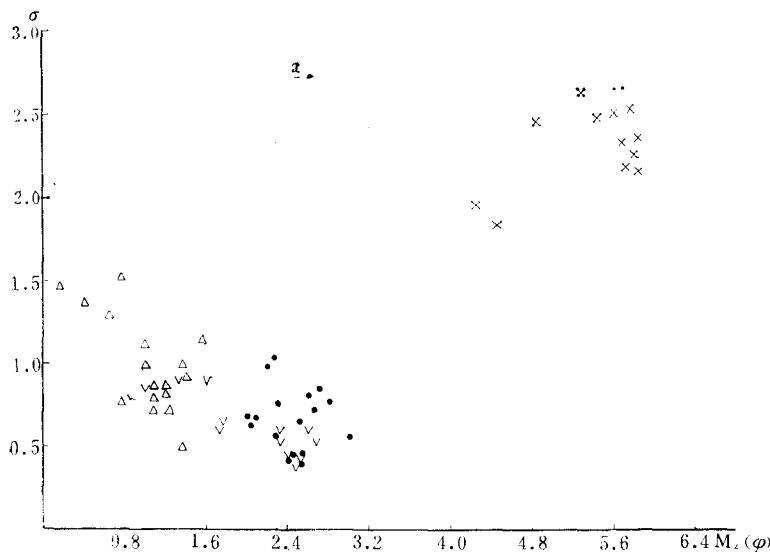
对于峰态 K_G , 仅 x_1 , x_2 与 x_4 间有差异,其余无差异。

按统计学原理,这里所指的差异,是因沉积环境不同而产生的因子误差,大于同一沉积环境内因取样地貌部位的微小变化而产生的随机误差,故差异显著便意味着其沉积环境对于沉积物粒度参数的影响很大,因而表现出相应的粒度参数间有很大不同。

从上述分析对比中可以看出,本区之四种地貌类型,可分为三类沉积环境:第一种是海滩和 underwater 浅滩,这里是以海浪作用为主的地区,相当于激浪带高能环境;第二种是水下潮流冲沟区,这里以潮流冲刷作用为主,海浪作用次之;第三种是湾口前浅海区,其间海浪和潮流作用都弱,相当于弱能沉积环境。此外,从多重比较中也可以看出,在本区,对于用沉积物粒度参数区别上述各沉积环境来说,以 M_z , σ 最佳, S_K 次之, K_G 最差。

四、粒度参数散点图

在近代沉积物粒度成分的研究中,常用散点图区分不同的沉积环境。根据本区沉积



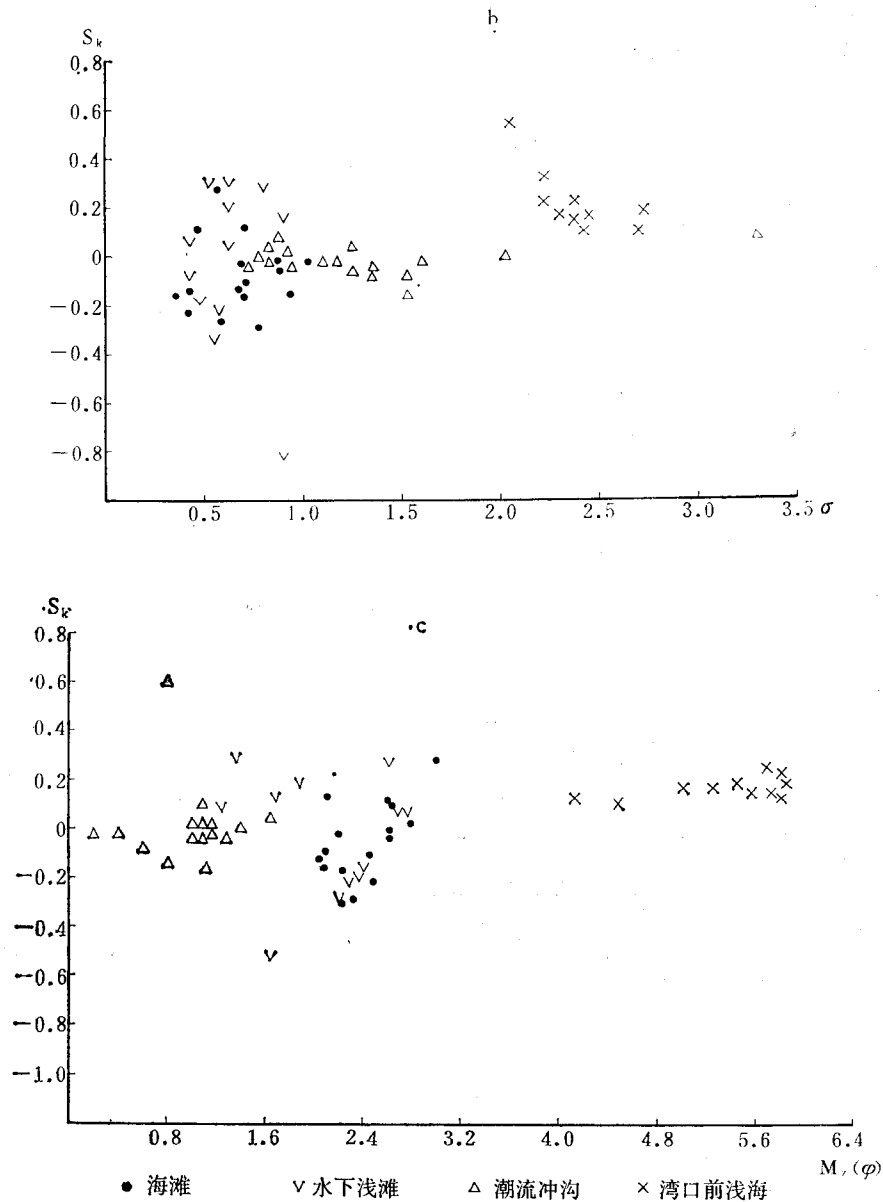


图7 不同沉积环境下沉积物粒度参数散点图

物粒度参数绘出的散点图(图7a, b, c)可以看出,不同沉积环境下的沉积物粒度参数点,分别落在图内的不同区域,从而显示出了彼此之间的差别。

图7a为 σ 对 M_z ,其中,海滩和水下浅滩的测点落在图的中部,且较集中,水下潮流冲沟测点落在图左面,与前者比较,显示出了颗粒粗、分选差的特征。湾口前浅海区的测点,则落在图的右上方,表现出细而分选差的特征。后两类测点的分布较为分散,系取样的随机误差所致。总体上,其结果与上述多重比较的计算结果一致。

图7b、7c分别是 S_k 对 σ 和 S_k 对 M_z 的散点图。从图上可以看出,海滩、水下浅滩

与水下潮流冲沟的测点均有程度不同的重叠,但却能够与湾口前浅海沉积相区别。

从以上三种散点图中可以看出,对于本区来说,以 σ 对 M_z 散点图区别沉积环境较好。

五、结 论

1. 湾内表层沉积物主要是防城河输入的陆缘碎屑物质。防城河入海的泥沙中,粗粒组分主要沉积在仙人桥以北的现代河口三角洲区,牛头岭以南的沙质沉积为古防城河河口沉积,其成因类型为变余沉积。考虑到目前表层沉积类型的分布格局及其形成时代的差异,其分布模式可以认为是时代不同、粗细不等的不规则斑块状镶嵌分布。

2. 本区之海滩、水下浅滩、水下潮流冲沟和湾口前浅海等四种地貌类型,可分为三类沉积环境。因其水动力条件不同,故其沉积物之粒度分布也各具特征。通过方差分析和多重比较计算可予以区别。研究表明,本区各类沉积环境之间, M_z 和 σ 值的差异最显著,换言之, M_z 和 σ 可以较为敏锐地反映其形成的水动力特征。因此,可视其为区别沉积环境,特别是区别水动力特征的主要参数。

3. 对沉积物粒度参数散点图区别本区的沉积环境,以 σ 对 M_z 最好,其余效果较差。

参 考 文 献

- [1] Dowling, J. H., 1977. A grain size spectra map. *J. of Sediment. Petrol.* 47(1): 281—284.
- [2] Folk, R. L., 1966. A review of grain-size parameters. *Sedimentology* 6: 73—93.
- [3] Friedman, G. M., 1961. Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristics, *J. of Sediment. Petrol.* 31: 514—529.
- [4] Friedman, G. M., 1967. Dynamic processes statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. *J. of Sediment. Petrol.* 37: 327—354.
- [5] Mason, C. C. and R. L. Folk, 1958. Differentiation of beach, dune, and aeolian flate environment by size analysis, Mustang Island, Texas. *J. of Sediment. Petrol.* 28(2): 211—226.
- [6] Veerayya, M. and V. V. R. Varadachari, 1975. Depositional environments of coastal sediments of Calangute, Goa. *Sedimentary Geology* 14(1): 63—74.

SEDIMENTATION AND PARAMETER'S CHARACTERISTICS OF GRAIN SIZE UNDER DIFFERENT SEDIMENTARY ENVIRONMENTS OF FANGCHENG BAY*

Li Fan Lin Baorong Zhang Xiurong
Zhou Tiancheng and Li Benzhaio

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

The sea bottom sediments of Fangcheng Bay were investigated in 1976. In this paper, we describe the sources and distributions of sediments. The result of this study shows that distributions of the coarse sediments as a whole were along main channel area, but fine sediments were distributed over the place where the hydro-dynamic conditions were relatively stable. Thus, the distributions of sediments are regarded as functions of the hydro-dynamic characteristics. At outer zone of this bay, the sand sediments were formed in low sea level period, then reworked continuously. Therefore, the distribution mode of the sediments was veneered by different grain sizes and times of sediments in Fangcheng Bay.

In addition, we describe in detail the hydro-dynamic conditions, distributions of the grain size and grain parameters according to geomorphologic patterns and distinguish them by way of analysis of variation and multiple comparison. The investigation shows that, M_z and σ are the most sensible parameters to reflect sedimentary hydro-dynamic environments.

* Contribution No. 683 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.