

# 白沙口海湾沉积作用

李凡 张秀荣

(中国科学院海洋研究所)

白沙口海湾位于山东半岛南岸，五垒岛湾西南隅，面对黄海。东有宫家岛分隔，南有古龙嘴向海伸展，形成了相对独立的小型海湾。

湾口朝向东南，区域海岸地貌类型为砂坝泻湖海岸，海岸开阔（见图1）。

调查区位于鲁东地盾的东南部，北部混合

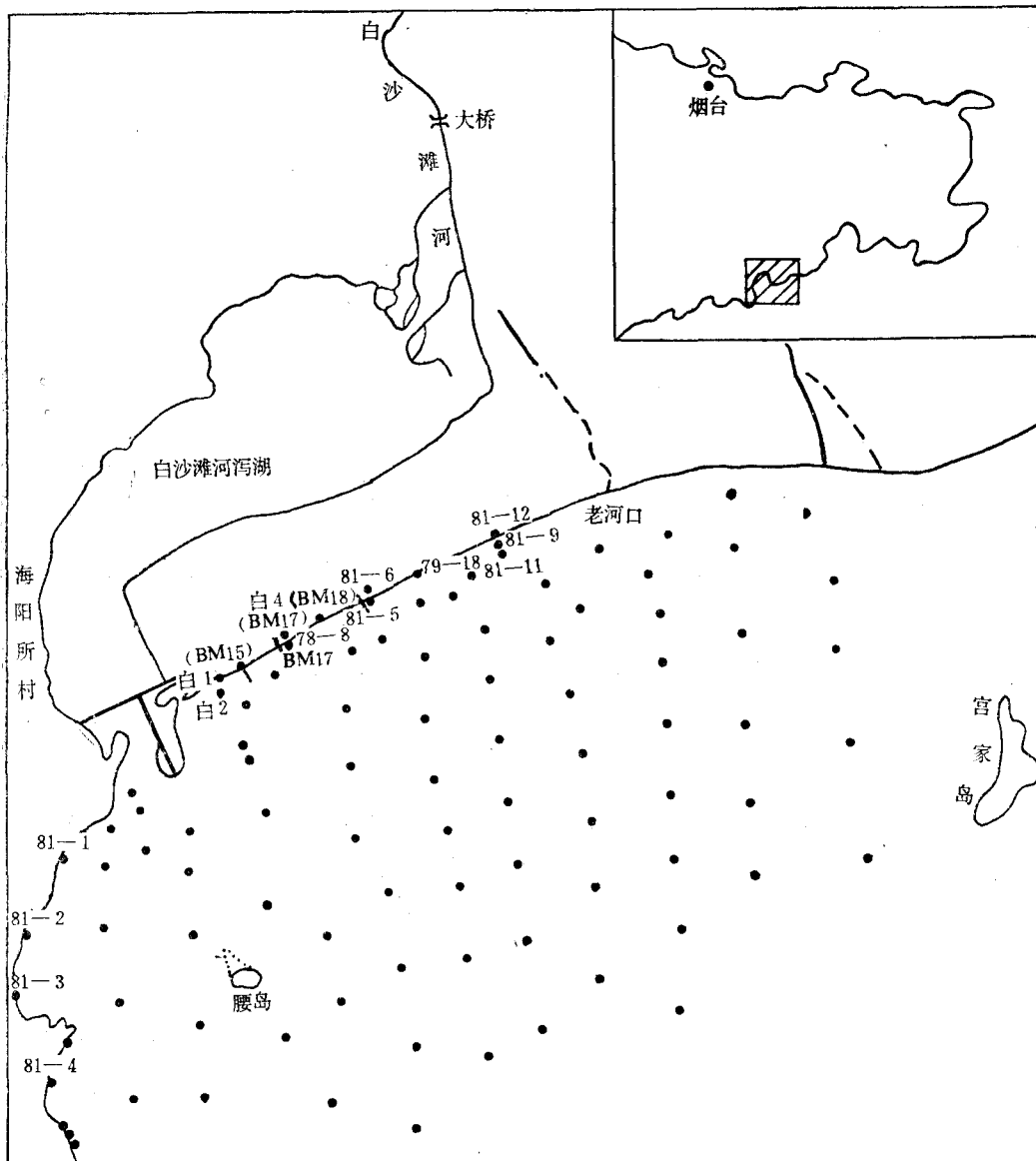


图1 白沙口海滩和海底取样站位(BM-18)断面号；·海底取样点；81-6海滩取样点号

花岗岩出露,形成海拔300—400米的侵蚀低山。山前为侵蚀台地,西南部为太古界胶东崮变质岩系组成的低丘,高度30—130米。靠近湾岸地区广泛发育第四系海积-冲积层,形成小型山前冲积平原。

本区主要河流为白沙滩河,发源于北面的垛堙山,长约20公里,为季节性间歇河流。每年汛期,河流携带泥沙入海,年输沙量约30万方。输沙量虽然不大,但由于海湾面积较小,多年积累,滨海地区形成了广阔的海滩,海滩上砂体发育,泻湖口发育有小型三角洲。由于毗连外海,水动力因素活跃,因而泥沙活动强烈。一部分泥沙向海扩散,沉积在海底,形成了与半封闭式海湾完全不同的沉积模式。作者曾经对于本海区的沿岸泥沙运动及地貌演变,不同沉积环境下沉积物的粒度分布特征等进行报道<sup>[1,2]</sup>,本文拟对海底沉积作用进行初步探讨。

## 一、海底地形及沉积物粒度成份分布特征

### 1. 海底地形特征

白沙口海湾底部地形比较平缓,呈单调的朝东南方向向海倾斜。低潮线以下至水深2—4米的水下岸坡,地形坡度约1%,在泻湖口三角洲前缘,坡度可达2%左右。水下岸坡外侧,水深大于4米的海底,坡度急降至0.1—0.2%,从水下岸坡至水深8米以内的海底,覆盖着粗细不同的现代陆源碎屑沉积物,海底地形无明显起伏。

### 2. 沉积物粒度成分分布特征

调查区海底沉积物粒度参数是按Folk公式计算的。

(1) 海底沉积物平均粒径的分布(见图2)沉积物的平均粒径( $M_z$ )反映了沉积物粒度分布的一般状态。从图2可以看出,本区从岸向海,随着离岸距离和水深的增加,海底沉积物的平均粒径也有规律地由粗变细。在白沙滩河泻湖口三角洲地区, $M_z$ 小于 $3\phi$ 的沙质粗粒沉积物,呈舌状向海突出。两侧则大致平行于岸线向左右伸展。 $M_z$ 大于 $3\phi$ 的极细沙和粉沙主要分布在水深大于4米的水下岸坡。 $M_z$ 大于 $4\phi$ 的粒级等值线之间的距离向海迅速增加,说明那里的海底沉积物细而均匀。绝大部分为细粒物质覆盖,许多站位上,大于 $4\phi$ 的粉沙和粘土等细粒级物质的含量可达90%以上。

(2) 沉积物标准离差( $\sigma$ )的分布(见图3)从图3可以看出,水下岸坡上部浅水区的沙质沉积物,标准离差小,按Folk的分级标准,分选程度为中等至较好,沉积物中几乎不含泥粒。水下岸坡外部浅海海底的粉沙和软泥等细粒沉积物分选程度中等,靠近东部的老河口和西部的腰岛附近海底,由于河流或腰岛的陆源物质的输入,分选程度较差,粗细粒级混杂。

综上所述可以看出,本区海底沉积物之粒度分布具有明显的、大致平行于海岸的分带现

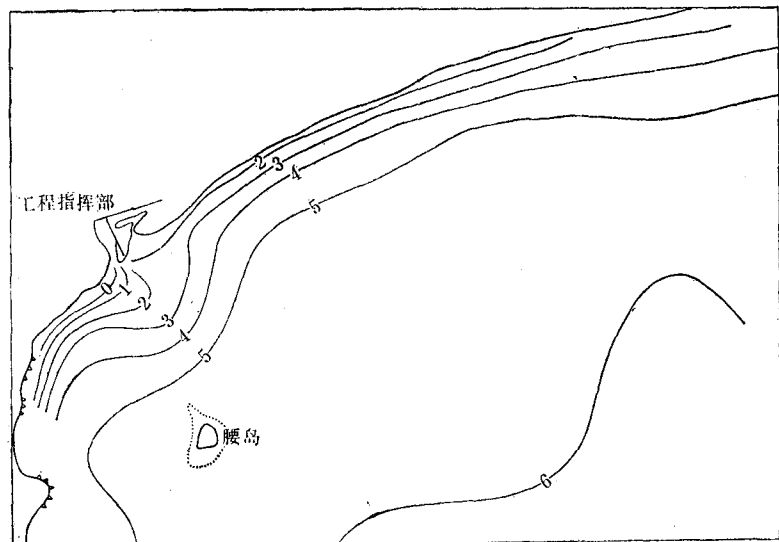


图2 白沙口海底沉积物中 $M_z$ 等值线

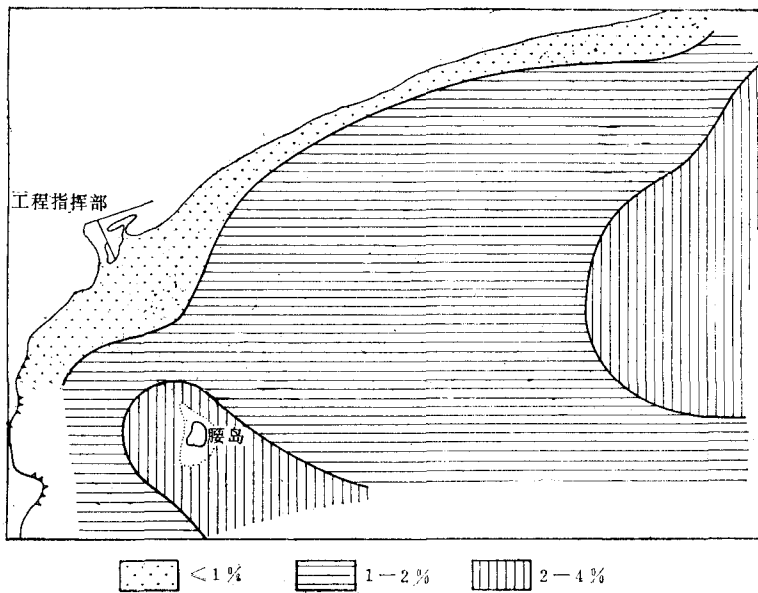


图3 白沙口海底沉积物标准离差( $\sigma$ )分布

象, 粗细明显分化, 沙中几乎不含泥粒, 而外部深水区的软泥沉积物中, 除近岛屿地区或河口区以外, 也很少含有粗粒沙质沉积。其粒度频率分布表现为: 海滩上为单峰曲线, 高峰位于 $0-1\phi$ 粒级处, 低潮线以下至水深4米左右的水下岸坡上, 为多峰型, 粒级频带较宽, 水深大于4米的浅海区, 频率分布近似于单峰型, 高峰偏于细粒级(见图4)。相应的不同

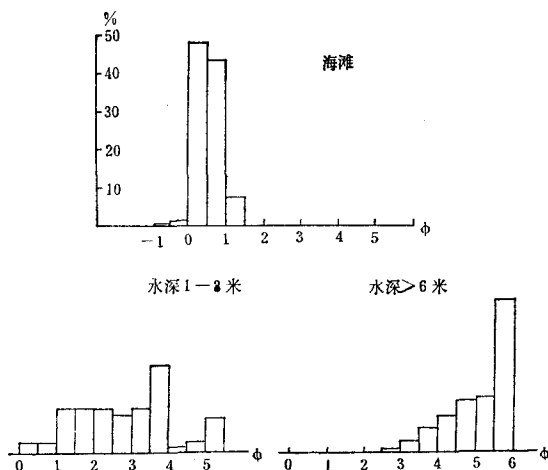


图4 白沙口不同水深条件下沉积物粒度频率直方图

水深的沉积物粒度概率曲线也表现出了不同的特征, 即海滩上, 沉积物概率曲线具有明显的四段结构, 双跳跃群的含量可达90%左右。上述水下岸坡上, 由于潮汐的涨落和海浪破碎的影响, 沉积物中推移群可以增至20%左右。同时, 悬移群含量也往往大于10%。水深大于4米的浅海区, 沉积物中悬移群往往可达90%, 推移和跃移群含量急剧减少(见图5)。

上述情况说明, 在本区水动力条件活跃, 海底地形平缓倾斜, 物源较为

单一的条件下, 陆源碎屑物质入海后, 得到了较为充分的机械分异作用, 形成了粒度成分随离岸距离和水深的增加而逐渐变细的带状分布模式(见图6)。

这种模式完全不同于半封闭式海岸的斑块状镶嵌分布模式, 而和约翰逊最早提出的陆架碎屑沉积模式<sup>[3]</sup>基本上一致。然而统计表明, 这种平均粒径的减小和水深的增加, 两者之间并非呈简单的线性关系, 而是呈幂函数关系, 即:

$$Y = ax^{-b} \quad (1)$$

式中Y为沉积物平均粒径, x为水深, b为回归系数。

通过计算,  $b = 1.7053$ ,  $a = 0.481$ , 因此, 上述回归式可写成下式:

$$\hat{Y} = 0.481x^{-1.7053} \quad (2)$$

式中 $\hat{Y}$ 为平均粒径的拟合值。曲线的剩余标准离差 $s = 0.0180$ 。拟合良好。

式2可以看作本区特殊沉积环境下的沉积物粒度分布数学模式。它们和海浪起动海底泥沙的轨道速度随水深的增加而减小的趋势是一致的。

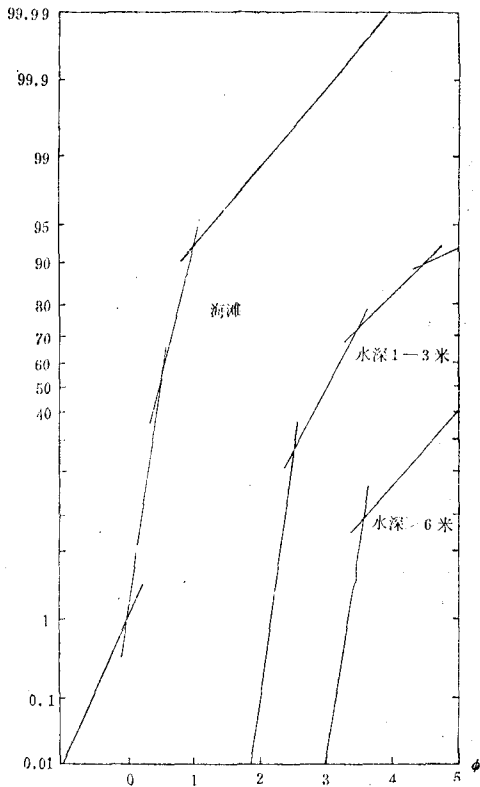


图5 白沙口不同水深条件下沉积物粒度概率曲线

## 二、矿物成分分布特征

为了进一步研究本区沉积物的来源及沉积过程，我们分别对白沙滩河、沿岸砂堤及近岸浅海区海底沉积物中0.125—0.063毫米的极细

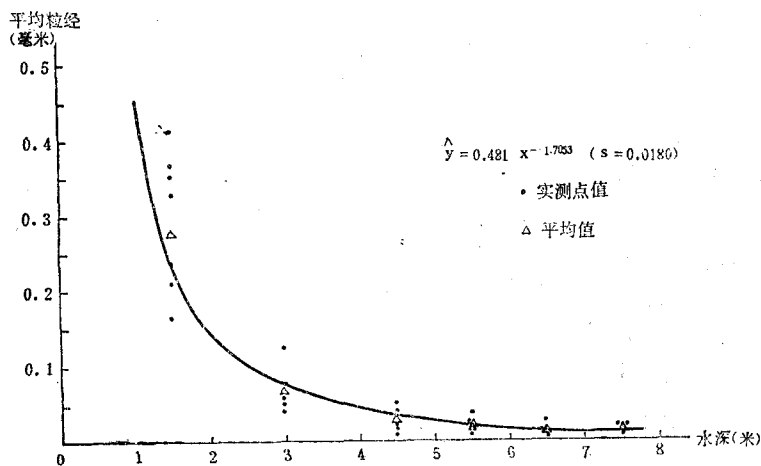


图6 白沙口水深、粒度关系曲线

沙粒级进行了矿物分析，鉴定中特别注意到了矿物的标型特征，同时，为了突出某些含量较低的透明重矿物在沉积搬运过程中的意义，对于透明矿物的含量进行了单独计算。现将不同环境下的矿物成分及其分布特征分述如下。

表1列出了白沙滩河及沿岸砂堤上的矿物含量。

### 1. 白沙滩河流冲积物的矿物成分

河流冲积物中重矿物种类有普通角闪石、绿帘石、磁铁矿、钛铁矿、柘榴子石、榍石、磷灰石、褐帘石、辉石、锆石、金红石等。并掺有较多岩屑。其中主要矿物为普通角闪石和绿帘石，两种矿物含量约占80%左右。普通角闪石多为颜色较浅的绿色，呈柱状外形，棱角比较尖锐，横断面参差不齐。几乎所有颗粒都具有包裹体，包裹体呈细粒状或针状，沿长轴方向有规则地排列。绿帘石为黄绿色不规则棱角状颗粒，表面光亮度差，有斑点状污染，内有与角闪石所含相同类型包裹体但排列不规则。褐帘石是河流冲积物中的特征矿物，呈暗棕色柱状，表面暗淡无光泽，多色性自淡棕至深棕显著，折光率大于1.70，重屈折强，二轴晶负光性。其最高含量可达5.66%，平均含量为3.2%。磷灰石分布普遍，最高含量达3.25%，平均含量为1.3%，外形呈纤维柱状或六方柱状，两端平缓，乳白色，晶体内有颗粒状包裹体。河口地区出现有黝帘石、蓝晶石等。轻矿物组成中，长石、石英的含量占95%以上，其中长石含量大于石英含量，但石英含量自上游到河口有逐渐增多趋势。根据白沙滩河冲积物中矿物颗粒多呈尖棱角形等特点，可以判断其携带物主要源于附近混合花岗岩侵蚀。

### 2. 沿岸砂堤沉积物中的矿物成分

矿物分析结果表明，普通角闪石含量自河口向西逐渐减少，到BM-17附近则又增加，

西部的81-4站高达70%以上。绿帘石变化恰相反。由标型特征分析, 沿岸砂堤沉积物中角闪石和绿帘石可大到分为二种类型, 一类是具有上述河流冲积物中角闪石和绿帘石的特征; 另一类是角闪石以颜色较深和具有较好的长柱状或短柱状外形, 以及不含包裹体或仅含有个别石英或其它矿物小颗粒为特征。它们不同于上述河流冲积物中的角闪石。绿帘石也以含有类似的包裹体为特征, 区别于河流冲积物中的绿帘石。它们是西部沿岸小溪或冲沟输入的物质, 母岩系西部沿岸胶东群变质岩。两种不同类型的角闪石和绿帘石以不同比例互相混合。总的看来, BM-17以东地区, 以河流冲积物的角闪石和绿帘石占主体; 81-1以西海滩则是具有西部标型特征的角闪石和绿帘石占优势; 中部, 特别是泻湖口附近两种类型角闪石和绿帘石都有很多含量。沿岸砂堤沉积物中磷灰石含量均小于1%, 较河流冲积物中磷灰石含量大为减少, 但仍能反映出由东向西的变化趋势: 从河口向西至BM-17附近, 磷灰石含量由0.75%减为0.34%, 再向西至81-1附近又增加至0.5—0.7%。呈纤维柱状磷灰石只在泻湖口以东零星出现。褐帘石是海滩沉积物中含量比较稳定的矿物, 自河口向西至81-1站, 平均含量为0.21%, 再向西该种矿物消失。

沿岸砂堤上轻矿物组合简单, 几乎全由无色透明, 棱角尖锐的颗粒状石英和无色、白色或淡黄褐色透明的板状长石组成。其它成分, 包括片状矿物、生物碎屑和一些表面受污染的颗粒含量很少, 个别取样点上出现海绿石。

扫描电镜下观察, 海滩上的石英颗粒多呈次棱角状或次圆状, 局部尚有尖锐的棱角。贝壳状断口清晰可见, 只有少数“V”形坑, 棱边部分圆化。表面上见有多少不等的溶蚀痕迹。上述特征说明, 本区的陆源物质脱离母岩后受改造相对较轻, 时间不太长。据BM-18断面以东老沿岸砂堤上贝壳的<sup>14</sup>C年龄鉴定为5610±105年, 因此, 现海滩的物质系近5000年以来搬运来的陆源物质。

根据沿岸砂堤上矿物的分布特征, 可将其

分为三个不同的矿物组合区。

(1) 东部矿物区 位于老河口向西至BM-17附近。本区角闪石和绿帘石的标型特征及含有褐帘石和纤维状磷灰石等, 反映了它们具有河流冲积物的特征, 同时, 该区中重矿物含量以绿帘石、柘榴子石、金红石、锐钛矿和不透明矿物的含量由东向西逐渐增加, 角闪石、磷灰石等的含量逐渐减少。这种现象说明了白沙滩河早期携带的物质入海后沿岸向西扩散。

(2) 西部矿物区 包括81-1站以西的沿岸砂堤。如上所述, 该区富含深绿色为主并具有较好柱状外形, 不含包裹体或仅含个别石英小颗粒包裹体的角闪石。它们反映了西部物源区角闪片麻岩矿物成分的特点, 并以不含有褐帘石与东部矿物区相区别。

(3) 混合区 东界约在BM-17附近, 西界约在81-1附近。该区矿物成分复杂, 角闪石和绿帘石兼有上述东、西两个物源区的标型特征, 角闪石、磷灰石的含量在本区复又增加, 这种现象是由于东、西两个方面物质在本区混合以及目前的白沙滩河不断输入泥沙的结果。

### 3. 海底沉积物中重矿物含量的分布

白沙口海底沉积物中的重矿物普遍含有角闪石、绿帘石、褐帘石、柘榴子石、锆英石、金红石、磁铁矿等, 其矿物组合与白沙滩河相似。特别是白沙滩河中的特征矿物(褐帘石)

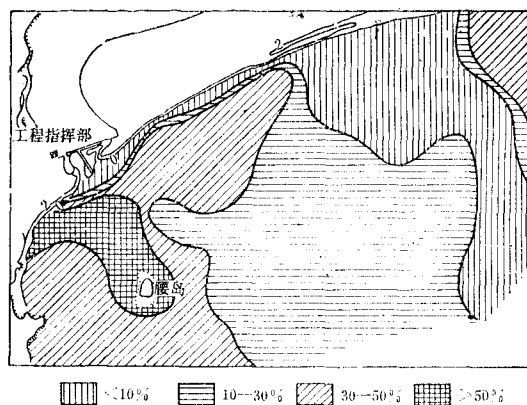


图7 粗粉砂粒级中角闪石含量分布图

几乎遍及整个调查区。说明这里的海底沉积物以白沙滩河输入的泥沙为主，然而东、西两部分也略有不同（见图7）。

从图中可以看出，海湾西部角闪石含量比东部高，同时，腰岛北部又有一高含量区以舌状向西北方向伸展，与岸边的高含量区连接，形成北西—南东走向的角闪石高含量带，这种分布形式与本区以东南向海浪为主的动力条件是一致的。角闪石高含量带的出现，说明海底有一部分细粒泥沙在海浪和潮流的作用下向岸输送。

磁铁矿、锆英石、金红石、柘榴子石等比重大于3.3的矿物含量基本上呈带状分布（见图8）。低潮线附近的水下岸坡上，含量一般大于10%，向外，随着离岸距离的增加，含量逐渐减少至5%。同时，以腰岛为界，东部和西部又分为两个低含量区，中间含量为5—10%。这种情况似乎说明，现代白沙滩河输入的泥沙，在河流汛期，由于河流径流能量增加，可以向东南方向输送至较远的距离，将先期沉积的泥沙分隔。

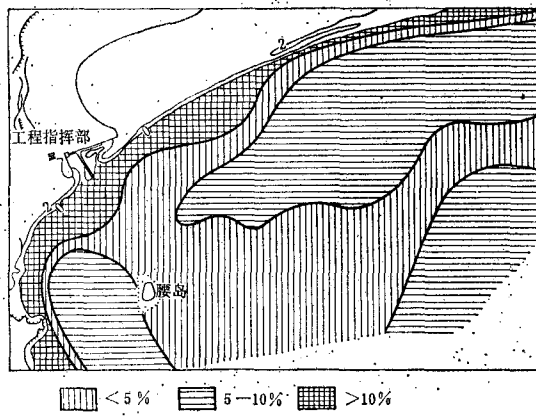


图8 粗粉沙粒级中比重大于3.3的一些矿物组合含量分布图

黑云母、绿泥石等片状矿物的分布形势与上述之磁铁矿等矿物相反，即近岸带粗粒沉积物中含量较低，距岸较远的细粒沉积物中含量较高。高含量区也以腰岛附近为界，分为两部分，中间为腰岛附近的低含量区分隔。上述高含量区分隔的现象可能也是由白沙滩河汛期输

沙的影响。

综上所述可以看出，本区海底沉积物中重矿物分布的规律是：一为自岸向海的分带性；二为东、西两部分的差异性。若以白沙滩河的特征矿物——褐帘石的广泛分布来看，白沙滩河输入的物质可以影响至西部海湾。因此，湾内海底沉积物有较为强烈的混合。

### 三、海湾沉积作用及其控制因素

调查区的沉积作用过程主要受本区海水动力条件的控制，其中主要是潮流和海浪。此外，河流径流也有一定影响。

白沙口潮汐为不正规半日潮，平均潮差2.48米，按Davis的分类为中潮型海岸。潮流近于往复流。在水深大于4米的海底，潮流流向大致与海底等深线平行。涨潮流向西北，经腰岛北部转向南，落潮反之。由于腰岛至泻湖口之间潮流的往复作用，阻碍了泻湖排出的泥沙大量南移，潮流会同向岸海浪的作用，限制了泻湖口三角洲向海迅速发展。然而，当汛期山洪暴发时，由于河流径流动能的急剧增加，加上退潮流作用，不但可以将河流泥沙经泻湖口向海排出较远的距离，而且尚能冲刷泻湖口三角洲，将部分已经沉积的沙质沉积物送入海中，从而增加了深水区沉积物中粗粒成分，在重矿物分布上表现出“分割”云母类等片状矿物和磁铁矿、锆英石等矿物分布区的现象。同时，由于潮流横贯海湾的往复流动，也促进了海湾东、西部矿物区的混合。

白沙口湾口朝向东南，北向风为离岸风，南向风为向岸风。因此，本区海浪以东南向为主。据1971.7—1972.8实测资料，年盛行波向为 $149^\circ$ ，波能合成方向为 $139^\circ$ ，在这种海浪的作用下，一方面在质量输送流的作用下，促使海底泥沙向岸搬运；另一方面也因波向与岸线斜交，迫使泻湖口以东的泥沙沿岸向西搬运。应当指出，上述情况是指年平均状态而言，实际上，波向是因季节不同而变化的，南向海浪和南南西向海浪作用于海岸时，其沿岸分量在本区大部分岸段皆指向东，因而迫使西部的泥

沙沿岸向东迁移,从而形成了东、西两部分物质的混合。

根据海浪折射图分析,就年平均状态而言,泻湖口三角洲附近波能辐聚,促使两侧泥沙在本区交汇,靠近湾顶区,即BM-18断面附近,波能辐散,促使泥沙向两侧运动,不利于泥沙自东向西的长距离搬运,这种情况和重矿物分析的泥沙自老河口向西迁移的现象矛盾。实际上,这是历史上的原因,根据地貌分析,白沙口岸段为小型砂坝泻湖海岸,湾口前发育一条砂嘴,自东向西延伸,向西直至海阳所村附近,与西面的角滩呼应。砂嘴的发育过程中接受向岸泥沙运动的补给,同时迫使河口向西偏转,砂嘴在形态上具有了砂坝的某些特征,形成砂坝泻湖海岸。岸线趋于夷平,从而停止了泥沙自东面的老河口附近向西作长距离的搬运。

在沉积作用过程中,除上述泥砂沿岸运动外,横向分异也很显著。海滩及沿岸砂堤上的泥沙,在海浪长期不断的簸选下,细而轻的物质以悬浮的形式飘至近岸浅海沉积,从而在那里形成了分选良好的沙质沉积物。水深较大的海底,由于海浪传入海底的能量随水深的增加迅速减小,水体相对稳定,河流输入和海滩簸选而来的细轻物质在此处沉积,从而形成了沉积物粒度成分随离岸距离和海水深度的增加而变细,比重较大的矿物含量减少,片状矿物含量相对增加的带状分布。根据海浪作用临界水

深的计算,1972.7—1973.8间,就平均状况而言,水深小于0.8米的水下岸坡的上部为泥沙强烈活动带,大于3.5米为稳定带,即泥沙(平均而言)处于常年稳定的状态。大浪季节,泥沙的稳定带可以推进至水深大于7.5米的海底,弱活动带也达4.5—7.5米深处。这种泥沙活动带和上述之粒度成分、矿物成分的分带性基本一致,它们都是在沉积搬运过程中,由于颗粒的体积和重量大小不同与水体能量相适应而发生的机械分异作用的结果。在泥沙稳定带内,由于水体稳定,不同条件下沉积的粗细不同的物质不易发生再分异,故分选性差。

#### 四、结 论

白沙口为沙坝-泻湖式海岸,湾岸开阔,湾底平缓。陆源物质主要来自白沙滩河。泻湖口前发育落潮三角洲。三角洲为海浪辐聚区,东西两侧泥沙向三角洲作相向搬运,东强西弱。陆源物质入海后主要向东南扩散。在海浪作用下,向岸由东向西搬运,细粒物质向海扩散,形成一个复杂的循环扩散系统。湾底沉积物的粒度、矿物成分,经长期的机械分异作用,形成大致平行于岸线的分布模式。

(参考文献略)

郑铁民、徐文强等同志进行了海底矿物鉴定工作,黄求获同志协助进行扫描电镜观察,蒋孟荣等同志清绘图件,谨致谢意。

### COASTAL SEDIMENTATION OF THE BAISHAKOU GULF

Li Fan and Zhang Xiurong

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

#### Abstract

Baishakou gulf is of the barrier-lagoon coast. The sea floor near the coast is a gentle slope. Being influenced by the special topography and the dynamic current condition, the silts contributed by the river have been moving from both sides to the lagoon delta, thus forming the circular spread series from the land to the sea. The size and mineral distributions of the material are of a zonal pattern approximately parallel to the coast.