

# 杭州湾表层沉积物碎屑矿物分布及物质来源<sup>\*</sup>

王昆山<sup>1,2</sup>, 金秉福<sup>3</sup>, 石学法<sup>1,2</sup>, 姜晓黎<sup>1,2</sup>

(1. 海洋沉积与环境地质国家海洋局重点实验室, 山东 青岛 266061;

2. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061;

3. 鲁东大学 地理与规划学院, 山东 烟台 264025)

**摘要:**对 2008 年采自杭州湾内的 232 个表层沉积物进行了碎屑矿物研究。结果表明, 杭州湾沉积物中重矿物质量分数较低, 平均为 3.39%, 重矿物以普通角闪石、绿帘石为主, 富含云母类片状矿物, 稳定矿物如钛铁矿、石榴子石、锆石、榍石等质量分数较低。轻矿物以石英、长石为主, 绢云母为特征矿物, 物源指示意义大。重矿物中优势矿物(普通角闪石, 绿帘石)、赤铁矿和褐铁矿以及特征片状矿物可以作为沉积物输送和扩散的指标, 碎屑矿物分布特征表明杭州湾表层沉积物以长江输入为主, 湾内南部沉积物中混有钱塘江及周边河流的输入物质, 岛屿侵蚀产物对沉积物碎屑矿物组成影响有限。

**关键词:**杭州湾; 碎屑矿物; 沉积物; 物质来源

**中图分类号:** P736

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-6647(2013)01-0095-10

杭州湾沉积物主要来源于长江, 泥沙入海后向南扩散的部分物质在潮流的作用下进入杭州湾。杭州湾沉积物其次来源于钱塘江、曹娥江和甬江, 其中钱塘江年均输沙量  $0.06 \times 10^8$  t, 约占长江输沙量的 1% (长江年均输沙量为  $4.86 \times 10^8$  t)。长江口与杭州湾的海岸交汇点(南汇嘴)为长江泥沙扩散南下的主要通道, 湾内水动力以强潮作用为特征, 风浪较小, 潮流具有潮差大、流速大的特点。湾内多岛屿, 东部分布嵎泗列岛、受水动力和岛屿阻隔影响较大, 沉积环境复杂<sup>[1-3]</sup>。

杭州湾沉积物多为粉砂质沉积, 中部富含粘土, 在杭州湾口附近出现砂质沉积物, 碎屑矿物组成受长江、钱塘江输入物质影响明显。杭州湾悬沙运移、冲淤变化以及物质来源、沉积动力学等方面的研究深入, 主要集中在杭州湾北岸、庵东浅滩、崎岖列岛等区域<sup>[4-6]</sup>, 对于杭州湾内大比例尺的矿物分布研究并不多, 我们拟通过杭州湾内表层沉积物碎屑矿物的质量分数和组合变化特征, 讨论长江和钱塘江物质在杭州湾内的分布及扩散趋势, 加深对杭州湾表层沉积物分布规律的认识。

## 1 样品和方法

所分析样品是 2008-04-06 间国家海洋局第一海洋研究所利用“浙临渔 2170”和“苏靖渔 03528”作为调查船, 使用抓斗和箱式取样器在杭州湾内取得 232 个表层沉积物。碎屑矿物室内分析流程如下: 1) 取沉积物原样 40~100 g, 烘干后称重, 得到沉积物干样重量; 2) 放烧杯中用清水浸泡, 经充分搅拌使碎屑矿物与粘土组分分离, 依次用孔径为 0.063, 0.125 和 0.25 mm 的铜筛对沉积物进行分离; 3) 选取 0.063~0.125 mm 粒级的细砂组分称重, 加三溴甲烷重液分离(重液比重为 2.89); 4) 分离后分别称重, 得到轻、重矿物质量分数及此粒级碎屑矿物质量分数, 称重精度为 0.001 g。其后对每个样品的轻、重矿物分别鉴定 300 个颗粒或以上, 研究工作采用了实体显微镜观察和偏光显微镜(油浸法)。鉴定中对矿物特征如颜色、形态、条痕、铁染程

\* 收稿日期: 2011-07-03

资助项目: 中国近海海洋综合调查与评价专项——重要三角洲演变规律及重大事件的沉积记录与可持续发展研究(908-02-02-05)

作者简介: 王昆山(1973-), 男, 黑龙江绥化人, 副研究员, 博士, 主要从事海洋沉积学方面研究。E-mail: kunshwang@fio.org.cn

(陈 靖 编辑)

度、蚀变程度、颗粒相对大小、光学性质等进行了较详细的描述。然后在此基础上总结出研究区优势矿物、特征矿物的分布特征,划分了矿物组合。

沉积物碎屑矿物质量分数等级以累积百分频率分割的方法进行多级划分,以有效编制矿物质量分数分布图,明确表明矿物分布的规律,划分的主要目的是突出高、低质量分数区,表现背景值,划分原则:1)全部数据按质量分数从低至高统计累积频率;将累积频率分为如下6个等级:最小值,15%,25%,50%,75%,85%,最大值;求得各级的质量分数范围并作图。2)各级所反映的矿物学含义为:0~15%为极低值,15%~25%为低值,其分布区称为低质量分数区;25%~50%为低中值(低背景值),50%~75%为高中值(高背景值),其分布区称为中质量分数区;75%~85%为高值,85%~100%为极高值,其分布区为高质量分数区。

## 2 结果与分析

### 2.1 碎屑矿物组成与分布

#### 2.1.1 组成

杭州湾沉积物中共鉴定出重矿物37种,优势矿物(平均质量分数>10%)为普通角闪石和绿帘石,平均质量分数1%~10%的矿物包括阳起石,黑云母,褐铁矿,水黑云母,钛铁矿,白云母,楣石,透闪石,黝帘石,透辉石,磁铁矿,石榴子石,普通辉石,平均质量分数<1%的矿物包括自生黄铁矿,磷灰石,菱镁矿,白云石,锆石,电气石,胶磷矿,霓辉石,赤铁矿,萤石,硅灰石,绿泥石,白钛石,紫苏辉石,磷钇矿,符山石,红柱石,金红石,玄武闪石,矽线石,霓石,独居石等,样品中含有少量的风化碎屑、岩屑。轻矿物种类有9种,优势矿物为石英,斜长石,其它矿物包括钾长石,绿泥石,绢云母,白云母,海绿石,黑云母和方解石,样品中含有少量的生物碎屑、有机质和风化碎屑。碎屑矿物基本统计数据见表1。

表1 杭州湾表层沉积物碎屑矿物质量分数基本统计(%)

Table 1 Percentage of detrital minerals in the surface sediments of the Hangzhou Bay(%)

	普通角闪石	绿帘石	片状矿物	赤铁矿+ 褐铁矿	极稳定矿物	钛铁矿	楣石
平均值	46.6	14.0	9.2	4.2	2.8	2.0	1.4
最小值	9.5	2.2	0	0	0	0	0
最大值	68.7	30.7	80.7	13.4	8.8	24.1	4.9
	重矿物 (沉积物)	重矿物 (细砂)	石英	斜长石	钾长石	绿泥石	绢云母
平均值	0.129	3.39	46.0	29.2	7.0	5.9	3.7
最小值	0.001	0.12	0.7	0	0	0	0
最大值	3.887	19.78	62.7	55.0	17.0	19.0	51.3

#### 2.1.2 分布

杭州湾沉积物碎屑矿物主要以轻矿物为主,重矿物质量分数较低,多在4%以下,沉积物成熟度低。矿物表面特征及质量分数变化较为明显,重矿物以普通角闪石、绿帘石为主,局部富集云母(片状矿物)为特征:其中普通角闪石多为浅绿色、绿色,次棱角状,多碎片、有轻微风化蚀变;绿帘石多为绿色、浅绿颗粒,次棱角状,半透明,颗粒表面有风化;片状矿物多以薄片状为主,少见厚板状;抗风化能力强、比重较大的矿物如石榴子石、锆石,钛铁矿等质量分数很低。轻矿物以石英、长石为主,富含绿泥石和绢云母,其中石英多为碎粒、次棱角状,长石表面多磨蚀,半透明颗粒为主。下面对矿物参数的质量分数及分布特征予以简单描述。

1)重矿物总质量分数(沉积物)是指重矿物的质量占沉积物干样质量的百分比,表明重矿物在沉积物中的分布趋势,平均值为0.129%,变化范围0.001%~3.887%(表1)。高值区主要出现在杭州湾的东北部、

岱山岛周边、舟山岛周边以及钱塘江口附近,在杭州湾中部出现大面积的低值区,甚至零值区,整体趋势是东西部高,中部低(图 1a)。

2)重矿物质量分数(细砂)是指重矿物质量占轻、重矿物质量之和的百分比,平均为 3.39%,变化范围 0.12%~19.78%。高值区主要出现在杭州湾中部,在舟山岛、岱山岛周边出现低值区,与重矿物总质量分数的分布趋势不一致,这说明轻、重矿物的相对质量分数与底质类型、沉积物分选以及矿物蚀变有关系(图 1b)。

3)普通角闪石多为浅绿色、绿色,次棱角状,多碎片、有轻微风化蚀变,颗粒表面有磨蚀。平均质量分数为 46.6%,变化范围 9.5%~68.7%。整体分布趋势是北部较高而南部较低,可能受长江冲淡水的影响较大,而岛屿冲蚀产物对其质量分数变化的影响较小(图 1c)。

4)绿帘石多为绿色、浅绿颗粒,次棱角状,半透明,颗粒表面有风化,多为辉石和闪石类蚀变而来。平均质量分数为 14.0%,变化范围 2.2%~30.7%。高值主要分布在调查区的南部近岸水深较浅处,北部为低值区,总体上为南高北低的分布趋势(图 1d)。

5)片状矿物(云母类)包括黑云母、白云母和水黑云母,以黑云母为主,片状,深绿色为主,少量呈褐色。其质量分数多时,以薄片状为主,质量分数低时则以厚片状为主。平均质量分数为 9.2%,最大值 80.7%。云母分布广泛,局部海区沉积物中质量分数高,其分布趋势与重矿物总质量分数分布相似,高值区主要分布在钱塘江口、崎岖列岛西部、舟山岛东部,低值区主要位于近岸海区(图 1e)。

6)赤铁矿和褐铁矿:赤铁矿,黑色、暗黑色的铁氧化物,多为颗粒;褐铁矿,隐晶质矿物,通常呈现钟乳状、块状等,半金属光泽,褐黑色、棕黄色、褐色。赤铁矿和褐铁矿的平均质量分数为 4.2%,最大值 13.4%。高值区主要分布在调查区中部、舟山岛南部,总体上是中部高,其它海区分布中、低值(图 1f)。

7)钛铁矿多为粒状,不规则粒状等形态,亮黑色,强金属光泽,次棱角状居多,在海区多有磨蚀。平均质量分数为 2%,最大值 24.1%。高值(2.5%~24.1%)区大面积分布在调查区中部,低值区分布在南部和北部(图 2a)。

8)极稳定矿物组合包括榍石、锆石、石榴子石和电气石,平均质量分数 2.8%,最大值 8.8%。主要以石榴子石为主,调查区北部的崎岖列岛附近分布低值区,整体分布趋势是中间高四周低(图 3b)。

9)普通辉石在海区分布广泛,多风化,以半透明到不透明,浅绿、灰绿色颗粒为主,有磨蚀。平均质量分数为 0.9%,最大值 3.2%。高值区呈散珠状分布在调查区的南部和北部海区,靠近岱山岛、舟山岛、崎岖列岛,调查区中部分布低值区(图 2c)。

10)石英形态以粒状、次棱角、次圆状为主,有磨蚀,部分颗粒表面具有铁染现象。平均质量分数 46%,变化范围为 0.7%~62.7%。高值出现在调查区的北部,近于东西向分布,而在调查区南部分布低值,偶见珠状高值区,整体上看是北高南低的近东西向条带状分布。在钱塘江口出现极低值,为 0.7%~40.7%(图 2d)。

11)长石包括斜长石和钾长石。斜长石以淡黄、灰白、灰绿的颗粒状为主,表面混浊,光泽暗淡,磨蚀较重,平均质量分数为 29.2%,最大值 55%。钾长石多为红色、褐色、浅褐色颗粒状,硬度较大,风化磨蚀较重。平均质量分数 7%,最大值 17%。高值呈珠状分布全区,主要分布在调查区南部近岸海区,中值(5%~9%)以背景值分布全区,低值主要出现在钱塘江口、崎岖列岛西部海区(图 2e)。

12)绢云母(轻矿物)黄绿色,丝绸光泽,部分蚀变颜色为红褐色,不透明,形状多为薄板状,厚板状少见。平均质量分数 3.7%,最大值 51.3%。源岩为变质岩,反映物源较为明显。高值主要出现在钱塘江口、岱山岛北部、崎岖列岛周边沉积物中,调查区北部出现低值区(图 2f)。

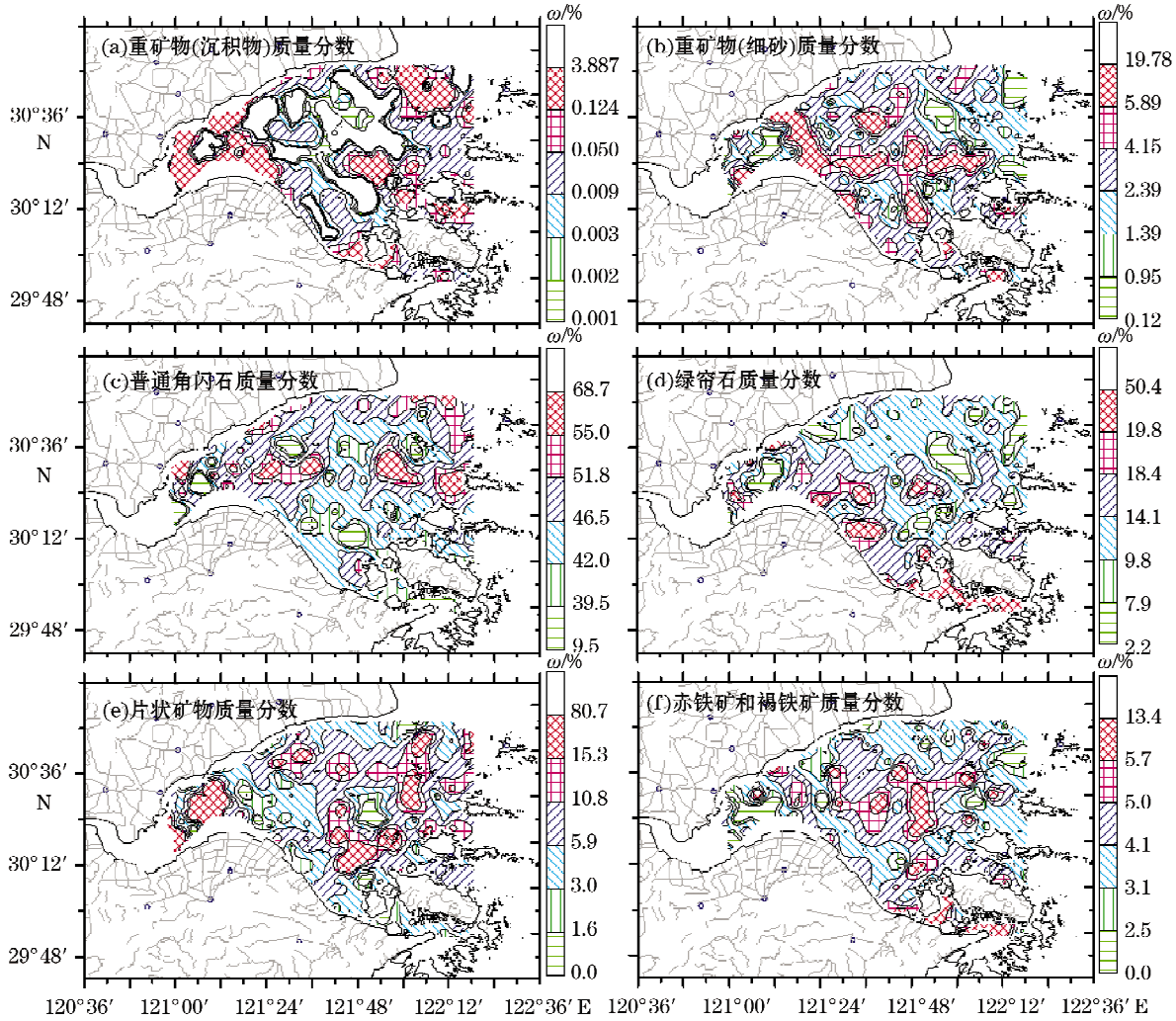


图 1 杭州湾表层沉积物重矿物分布

Fig. 1 Distributions of heavy minerals in the surface sediments of the Hangzhou Bay

## 2.2 组合分区

综合重矿物的主要变量,以重矿物总质量分数、重矿物质量分数、普通角闪石、绿帘石、片状矿物、赤铁矿和褐铁矿、普通辉石、钛铁矿、极稳定矿物组合、石英、长石以及绢云母等 12 个参数作为变量进行聚类分区,这些变量综合了沉积物质量、粒级以及反映水动力、物质来源和风化作用影响等多方面的信息,基本可以反映碎屑矿物在海区的总体分布趋势。根据聚类分析结果并结合其分布在杭州湾划分为 3 个碎屑矿物组合区(图 3),各组合分区矿物种类和质量分数变化明显,与底质沉积物类型和陆地物质来源密切相关。各分区碎屑矿物的基本统计数据(表 2)。

1) I 区:钱塘江口南部近岸矿物区,样品数 13(表 2)。本区的重矿物(沉积物)质量分数为全区最高,达到 0.325%。重矿物中优势矿物为普通角闪石、黑云母和绿泥石,其平均质量分数分别为 41.8%,17.8%和 11.0%(表 2)。白云母的质量分数较高,其它矿物如普通辉石、钛铁矿、磁铁矿、赤铁矿和褐铁矿的质量分数较低,极稳定矿物组合(石榴子石、锆石、榍石、金红石和电气石等)的质量分数也非常低,平均值仅为 2.7%,偶见自生黄铁矿出现。轻矿物以石英、斜长石、白云母和绢云母为主,其平均质量分数分别为 36.5%,17.8%,15.3%和 14.5%,云母的总质量分数高于石英的质量分数,且绢云母为全区最高,其它矿物的较低。

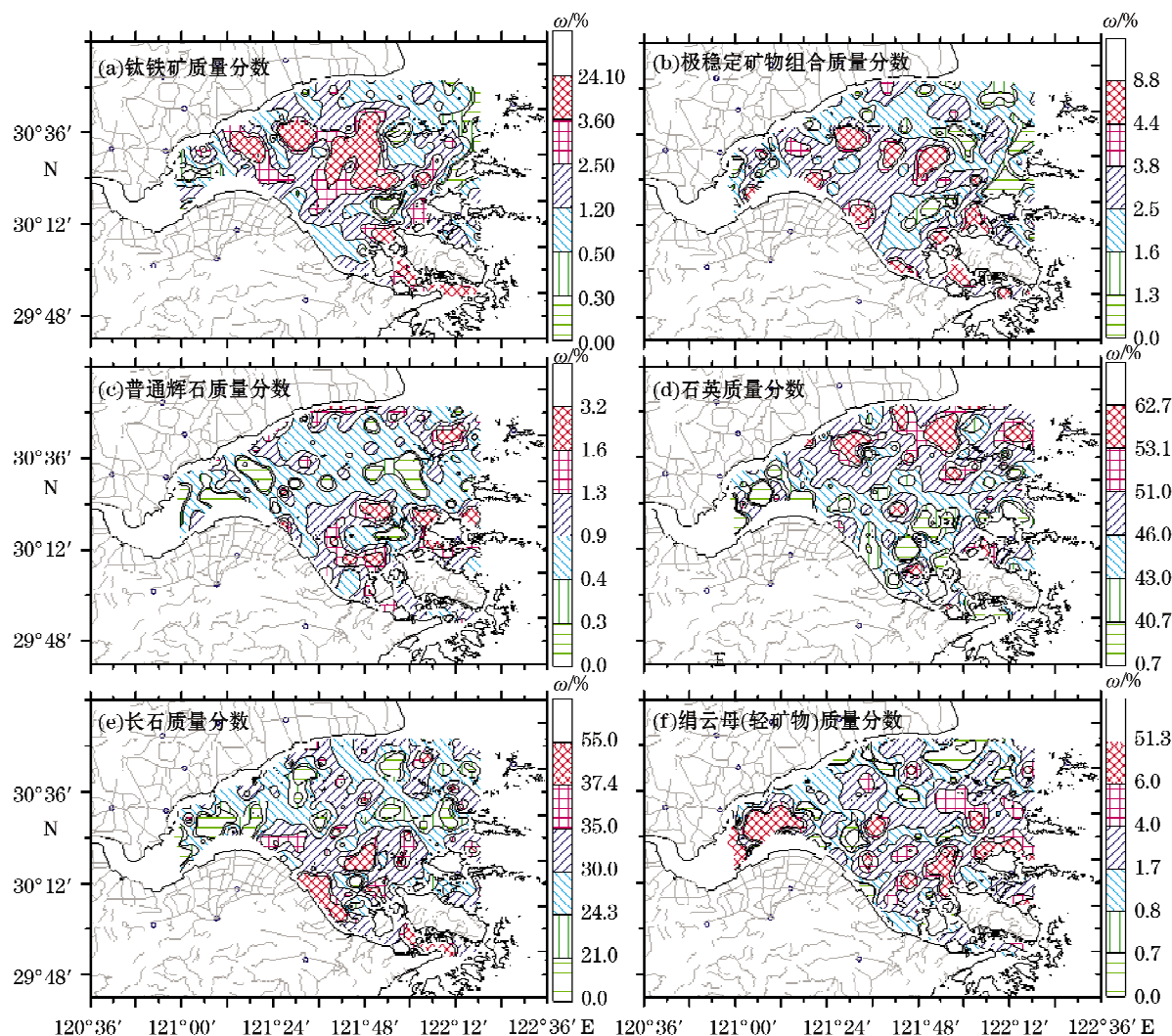


图 2 杭州湾表层沉积物碎屑矿物质量分数分布

Fig. 2 Distributions of detrital minerals in the surface sediments of the Hangzhou Bay

2) II区:杭州湾北部矿物区,样品数 114。重矿物(沉积物)质量分数的平均值为全区最低值,仅为 0.067%,最高为 1.708%(表 2),重矿物(细砂)质量分数较 I 区高,平均为 2.15%。重矿物中的优势矿物为普通角闪石、绿帘石,质量分数分别为 49.3%和 11.6%,云母类的质量分数较高,为 9.2%,远低于 I 区,稳定矿物的质量分数较低。轻矿物中以石英和斜长石为主,其它矿物如钾长石、绿泥石的质量分数较高,云母的质量分数较低,绢云母平均质量分数为 2.8%,为 3 个矿物分区中的最低值。

3) III区:杭州湾南部矿物区,样品数 105。重矿物(沉积物)质量分数为 0.219%,介于 I 区和 II 区之间,重矿物(细砂)质量分数为 4.06%,为 3 个分区的最高值。重矿物的优势矿物为普通角闪石和绿泥石,平均质量分数分别为 44.2%和 17.2%,其中绿泥石的平均质量分数为 3 个分区中最高,普通辉石、极稳定矿物组合、稳定铁矿物、赤铁矿和褐铁矿的质量分数较高。轻矿物中的优势矿物为石英和斜长石,平均质量分数分别为 44.2%和 30.3%,白云母和绢云母的含量较 II 区稍高,未见黑云母。

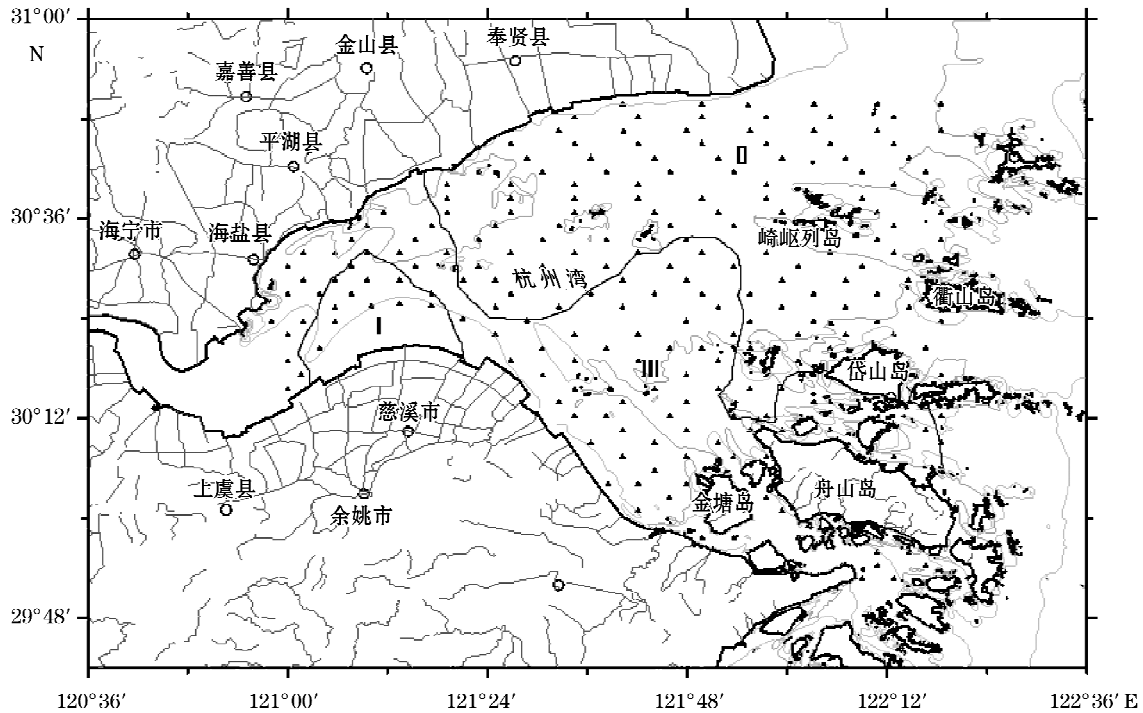


图 3 杭州湾表层沉积物取样站位及碎屑矿物组合分区

Fig. 3 Sampling locations and surface detrital mineral provinces in hangzhou bay

表 2 不同碎屑矿物组合分区优势矿物和特征矿物基本统计(%)

Table 2 Dominant and characteristic minerals in different detrital mineral provinces(%)

沉积物类型	I 区(样品数 13)			II 区(样品数 114)			III 区(样品数 105)		
	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值
重矿物(沉积物)	0.325	0.002	3.739	0.067	0.001	1.708	0.219	0.002	3.887
重矿物(细砂)	2.15	0.36	12.71	2.28	0.12	13.7	4.06	0.34	19.78
普通角闪石	41.8	9.5	60.2	49.3	31.6	68.7	44.2	10.8	63.5
绿帘石	11.0	2.5	19.9	11.6	2.2	23.7	17.2	3.3	30.7
片状矿物(云母)	26.4	1.6	80.7	9.2	0.3	38.8	6.7	0	70.2
极稳定矿物组合	2.7	0.5	6.6	2.1	0	7.4	3.5	0.6	8.8
普通辉石	0.5	0	1.3	0.9	0	2.8	1.0	0	3.2
钛铁矿	1.1	0	2.7	1.3	0	8.9	3.0	0	24.1
赤铁矿和褐铁矿	3.4	0.8	8.0	3.8	0	7.4	4.7	1.2	13.4
石英	36.5	4.0	53.0	48.1	32.0	60.7	44.2	0.7	57.0
长石	21.8	2.3	44.0	36.0	16.7	50.0	38.3	0.0	57.3
绢云母	14.5	0	51.3	2.8	0	12.3	3.4	0	49.0

### 3 讨论

根据碎屑矿物分布变化以及组合分区特征对杭州湾内表沉积物的物质来源、水动力变化以及沉积物扩散等进行了讨论。

### 3.1 矿物组合及质量分数变化

杭州湾沉积物重矿物质量分数平均为 3.39%, 低于长江水下三角洲沉积物中的平均质量分数 5.1%<sup>[7]</sup>, 也低于东海北部陆架沉积物重矿物质量分数 8.9%<sup>[8]</sup>, 远高于渤海莱州湾内的数值(1.5%)<sup>[9]</sup>。

沉积物重矿物以普通角闪石—绿帘石为优势矿物, 以片状矿物、赤铁矿和褐铁矿为特征矿物, 稳定比重大的矿物以及自生黄铁矿质量分数低。这些特征表明沉积区水动力不强, 但足以让部分比重较大的矿物得以沉积; 重矿物普通角闪石和绿帘石质量分数高, 水流多携带石英、云母等碎粒、碎片状矿物, 表明物质输入量高; 沉积环境趋向于氧化环境。总体上杭州湾内表层沉积物的成熟度低。

从不同的沉积物类型(粒度)中碎屑矿物质量分数分布看, 粉砂质砂中普通角闪石、绿帘石、石英、长石等优势矿物质量分数最高, 但石英在各沉积物类型中平均质量分数变化不大; 片状矿物包括绢云母主要在粉砂质沉积物中富集, 在砂质粉砂中最高, 平均为 10.5%(表 3); 稳定的矿物包括钛铁矿、极稳定矿物组合等在砂沉积物中富集, 但在粉砂质砂和粉砂沉积物中变化不大, 物质来源变化不明显。这些分布特征表明杭州湾物质主要受控于长江流入物质, 局部区域的细粒和片状矿物部分受控于钱塘江物质。也表明沉积物分选程度对重矿物(沉积物)质量分数及重矿物(细砂)质量分数具有相关关系, 分选好的沉积物中重矿物质量分数低(表 3), 分选较差的沉积物中重矿物质量分数较高。

表 3 不同沉积物类型(谢帕德分类)中主要碎屑矿物的质量分数(%)

Table 3 Contents of main detrital minerals in different types (Sheppard Classification) of sediments(%)

沉积物类型	砂	粉砂质砂	砂质粉砂	粉砂	粘土质粉砂
样品数/个	4	9	29	88	101
重矿物(沉积物)	2.99	0.95	0.15	0.02	0.03
重矿物(细砂)	8.96	5.49	3.07	3.66	2.81
普通角闪石	45.5	51.6	47.2	46.4	46.1
绿帘石	18.9	19.8	13.4	13.9	13.4
片状矿物	2.3	2.2	10.5	9.3	9.8
极稳定矿物组合	4.1	2.4	2.8	3.1	2.6
普通辉石	1.7	0.9	0.7	0.8	1.0
稳定铁矿物	3.9	1.7	3.4	3.0	2.6
赤铁矿和褐铁矿	5.4	3.9	3.8	4.3	4.1
自生黄铁矿			0.1	0.3	0.2
石英	44.2	46.2	45.8	44.5	46.6
长石	32.0	40.0	35.3	34.4	36.7
绢云母	0.8	0.6	4.8	5.0	3.1

注:表内“空白”代表未发现。

### 3.2 组合分区与物质来源

从河口地貌上看, 杭州湾底形态自湾口至乍浦地势平坦; 从乍浦起, 以 0.1%~2% 的坡度向西抬升, 在钱塘江河口段形成巨大的沙坎。杭州湾北岸为长江三角洲南缘, 沿岸深槽发育; 南岸为宁绍平原, 沿岸滩地宽广, 湾外为舟山群岛。前人研究表明<sup>[4-5]</sup>: 杭州湾的形成与长江三角洲的伸展和宁绍平原成陆密切相关。泥沙以海域来沙为主, 其中长江来沙对杭州湾的形成起着重要作用。通过对碎屑矿物成分及其质量分数变化的研究, 我们认为杭州湾物质来源主要为长江冲淡水带来的物质、钱塘江口输送的物质以及崎岖列岛、岱山岛和舟山岛的冲刷产物。对碎屑矿物分布影响最为明显的是长江物质, 钱塘江物质较为次要, 这与钱塘江河口湾地区钻孔资料的研究结果相一致, 末次冰期以来钱塘江河口湾浅海相沉积主要来自口外输沙, 少部分来自众多河流<sup>[5-6]</sup>。岛屿产物只对周边部分区域有轻微影响, 即岛屿冲刷产物对沉积物矿物组成影响有限, 岛屿侵蚀并不严重。各个来源的沉积物在杭州湾内进行着不同强度和方向的搬运, 虽然都存在往复搬运的

状态,但不同区块,物源和搬运净趋势有较大的不同。矿物组合分区意义如下:

1) I区受钱塘江物源影响最大,表现在重矿物(沉积物)质量分数最高,重矿物中的黑云母、轻矿物中白云母、绢云母质量分数非常高,尤其是绢云母其源岩为低级变质岩,表明其物质来源的独特性。稳定矿物的质量分数较低,偶见自生黄铁矿,表明本区沉积动力中等,氧化环境,物质来源稳定。

2) II区受长江沿岸流影响较大,物源受控于长江物源,本区长江源优势矿物普通角闪石的质量分数在3个分区中最高,绿帘石、石英的分布特征表明本区碎屑物质来源输入较III区高,且水动力较强,碎屑矿物分选较好。而I区的特征矿物绢云母在本区广泛分布但质量分数不高,受I区物质影响较小,绢云母的分布可能是潮流等对I区物质的扩散作用。

3) III区主要受长江物质的影响,同时I区的物质对其具有一定的影响,属二者共同作用区。绢云母的分布说明I区对其碎屑矿物组成影响有限。绿帘石、斜长石为本区的优势矿物,绿泥石在局部地区质量分数较高,绿帘石、绿泥石多为普通角闪石、辉石、斜长石蚀变而来,这表明本区接收碎屑粒级的沉积物较少且属于沉积动力较弱的环境。

从矿物分布图上来看,岛屿如岱山岛、舟山岛等的冲刷物质对周边的碎屑矿物组成影响不大,部分普通辉石来源于岛屿侵蚀产物。

### 3.3 沉积物扩散趋势

通过碎屑矿物分布和组合分区分析,从长江口水流携带的沉积物向南输送,在杭州湾内沿北岸向西输送、一部向南输送,这与南汇东滩的潮流动力分布密切相关<sup>[10]</sup>,矿物组合I区位于高能潮流作用区内。长江径流所携带的物质由于柯氏力作用沿东滩岸线由北向南输运<sup>[7,10]</sup>,并沿岸向西偏南运移,一直到杭州湾中部,俱为长江物质,向南到达杭州湾中部的崎岖列岛南部出现与钱塘江物质混合的现象,这也与潮流作用<sup>[3]</sup>、南北向分布的岛屿如衢山岛—岱山岛—秀山岛—舟山岛—金塘岛的阻隔有关。钱塘江物质主要沉积在庵东浅滩以北,部分细粒和片状矿物向东输送,向北达到崎岖列岛南部。

## 4 结 论

杭州湾内沉积物重矿物质量分数值较低,平均为3.39%,高于渤海莱州湾、低于长江口和东海陆架北部沉积物中的平均值。共鉴定出重矿物37种、轻矿物9种。重矿物优势矿物为普通角闪石、绿帘石,特征矿物为片状矿物、赤铁矿和褐铁矿,质量分数平均值分别为46.6%,14.0%,9.2%和4.2%。轻矿物优势矿物为石英、长石,特征矿物为绢云母,质量分数平均值分别为46.0%,36.2%和3.7%。

杭州湾沉积物碎屑矿物可以分为3个矿物组合分区:钱塘江口南部近岸矿物区(I区),杭州湾北部矿物区(II区),杭州湾南部矿物区(III区)。矿物分布及组合分区表明杭州湾物质来源主要为长江带来的物质、钱塘江口输送的物质以及崎岖列岛、岱山岛和舟山岛的冲刷产物。对碎屑矿物分布影响最为明显的是长江物质,钱塘江物质较为次要,影响范围有限,岛屿侵蚀产物量少对碎屑矿物组成影响不大。

矿物分布表明从长江口水流携带的沉积物进入杭州湾向南、向西输送,在杭州湾内沿北岸向西输送、一部向南输送。受潮流作用以及岛屿阻隔等影响,在杭州湾南部沉积物中混合有钱塘江物质,钱塘江物质以沉积在庵东浅滩以北最为明显,部分细粒和片状矿物向东输送,向北达到崎岖列岛南部。

### 参考文献(References):

- [1] LI C X, FAN D D. Development of the Holocene Changjiang delta and its influence on adjacent coastal sedimentary systems[J]. Journal of Palaeogeography, 2009, 11(1): 115-122. 李从先, 范代读. 全新世长江三角洲的发育及其对相邻海岸沉积体系的影响[J]. 古地理学报, 2009, 11(1): 115-122.

- [2] XIA X M, YANG H, LI Y, et al. Modern sedimentation rates in the contiguous sea area of Changjiang Estuary and Hangzhou Bay[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(1): 130-135. 夏小明,杨辉,李炎,等. 长江口-杭州湾毗连海区的现代沉积速率[J]. *沉积学报*, 2004, 22(1): 130-135.
- [3] WANG H Q, GAO S. Tidal flat sediment characteristics and transport trends along the northern bank of Hangzhou Bay[J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2007, 27(6): 25-30. 王华强,高抒. 杭州湾北岸高潮滩沉积与沿岸物质运输趋势[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2007, 27(6): 25-30.
- [4] XU S Y, SHAO X S, HONG X Q, et al. Storm-related tidal flat sedimentation on northern bank of the Hangzhou Bay[C]//YAN Q S, XU S Y, et al. *Recent Changjiang Delta Deposits*. Shanghai: East China Normal University Press, 1987: 7-14. 许世远,邵虚生,洪雪晴,等. 杭州湾北部滨岸的风暴沉积[C]//严钦尚,许世远,等. *长江三角洲现代沉积研究*. 上海:华东师范大学出版社,1987: 7-14.
- [5] ZHU Y R. Sediment dynamics study on the development processes of the paleo-Yangtze and the Qiantangjiang river estuaries since the post-glacial transgression maximum[J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2000, 20(2): 1-6. 朱玉荣. 冰后期最大海侵以来长江、钱塘江河口湾发育过程的沉积动力学研究[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2000, 20(2): 1-6.
- [6] ZHANG G J, LI C X. Sediment source of Qiantangjiang estuary since last glacial period[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42(16): 1741-1744. 张桂甲,李从先. 末次冰期以来钱塘江河口湾充填的物质来源[J]. *科学通报*, 1997, 42(16): 1741-1744.
- [7] WANG K S, WANG G Q, CAI S W, et al. Heavy mineral characteristics of surface sediments in the subaqueous Yangtze River Delta [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2007, 27(1): 7-12. 王昆山,王国庆,蔡善武,等. 长江水下三角洲沉积物的重矿物分布及组合[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2007, 27(1): 7-12.
- [8] WANG K S, SHI X F, LIN Z H. Assemblages, provinces and provenances of heavy minerals on the shelf of the southern Yellow Sea and northern East China Sea[J]. *Advances in Marine Science*, 2003, 21(1): 31-40. 王昆山,石学法,林振宏. 南黄海和东海北部陆架重矿物组合分区及来源[J]. *海洋科学进展*, 2003, 21(1): 31-40.
- [9] WANG K S, SHI X F, CAI S W, et al. Distribution and provenance of the surface sediments of the Yellow River mouth and Laizhou bay deduced from heavy minerals[J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2010, 30(6): 1-8. 王昆山,石学法,蔡善武,等. 黄河口及莱州湾表层沉积物中重矿物分布与来源[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2010, 30(6): 1-8.
- [10] KONG J, YE R H, XUE X X, et al. Influence of Nanhui tidal flat on water and sediment exchange between the Yangtze Estuary and Hangzhou Bay[J]. *Journal of Waterway and Harbor*, 2009, 60(2): 77-81. 孔俊,叶荣辉,薛晓晓,等. 南汇东滩对长江口与杭州湾泥沙交换的影响研究[J]. *水道港口*, 2009, 60(2): 77-81.

## Distribution and Provenance of the Surface Sediment of the Hangzhou Bay Deduced From Detrital Minerals

WANG Kun-shan<sup>1,2</sup>, JIN Bing-fu<sup>3</sup>, SHI Xue-fa<sup>1,2</sup>, JIANG Xiao-li<sup>1,2</sup>

(1. *Key Laboratory of Marine Sedimentology and Environmental Geology, SOA, Qingdao 266061, China;*

*2. First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China;*

*3. College of Geography and Planning, Ludong University, Yantai 264025, China)*

**Abstract:** A total of 232 surface samples collected from the Hangzhou Bay in 2008 were analyzed for detrital minerals. The results show that the content of heavy minerals is low with an average of 3.39%. The dominant heavy minerals are hornblende and epidote. mica is rich in the sediments. Some stable minerals such as ilmenite, garnet, zircon and sphene have lower content than others. The dominant light minerals are quartz and feldspar, and characteristic mineral is sericite, which is of great significance for the indication of material sources. The dominant heavy minerals, the ferric oxide minerals and the schistose mineral can be used as an indicator for tracing the transporting and diffusing direction of the sediment. According to the distribution pattern of detrital minerals, it is concluded that the sediments in the Hangzhou Bay are mainly derived from the Changjiang River, but in the southern Hangzhou Bay the sediments are mingled with material from the Qiantang River and other local rivers. The sediments eroded from the islands play a limited role for the detrital mineral composition in the Hangzhou Bay.

**Key words:** Hangzhou Bay; detrital minerals; sediment; material sources

**Received:** July 03, 2011