

文章编号: 1000-0550(2010) 02-0356-09

厦门湾现代沉积环境特征研究¹

方建勇¹ 陈 坚¹ 李云海¹ 柯淑云²

(1 国家海洋局第三海洋研究所 福建厦门 361005 2 福建省海洋与渔业厅 福州 350003)

摘 要 应用系统聚类 和 因子分析的方法分别对厦门湾 112 个表层沉积物样品的粒度组成和其中 35 个样品的矿物组成进行分析。结果表明: 厦门湾可以划分为三种与沉积动力特征相对应的主要沉积环境区; 表层沉积物中共发现碎屑矿物 50 种, 其中重矿物 38 种, 优势重矿物为磁铁矿、钛铁矿、褐铁矿、赤铁矿、绿帘石、角闪石、锆石等; 表层沉积物主要由九龙江等入海泥沙和厦门湾周缘基岩风化侵蚀产物组成, 部分为来自台湾海峡的物质。物质来源是影响研究区表层沉积物中重矿物分布的主要因素。

关键词 厦门湾 现代沉积环境 粒度 重矿物

第一作者简介 方建勇 男 1978 年出生 工程师 海洋沉积学 E-mail: fangjy2005@163.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

河口、海湾现代沉积环境研究是海岸带海洋环境研究和陆海相互作用研究的基础和重要内容之一, 同时也为海岸带开发和海洋工程建设提供科学的背景参考^[1-3]。表层沉积物的粒度分布及矿物组成特征是海洋沉积环境中最基本的地质参数之一, 综合反映了表层沉积物的物质来源、搬运和沉积过程及海洋动力、化学和生态等环境特征。根据表层沉积物粒度和矿物组成特征来研究和探讨沉积环境是海洋沉积学的传统和基础方法之一, 有着广泛的应用, 取得了大量丰富的成果^[4-13]。其中利用现代数理统计方法进行综合分析是有效和常用的手段之一^[14-18]。

厦门湾位于台湾海峡西侧, 有九龙江注入, 是复式河口湾, 形状上曲折多湾多岛屿, 岩性上比较复杂, 由九龙江口、厦门外港、厦门西港、浔江和同安湾等组成, 湾外有大小金门、大担、二担、青屿等岛链分布。厦门湾的沉积物主要来源于九龙江, 其入海物质运输、沉积过程和通量的变化直接影响厦门湾海域的沉积格局。另外, 厦门湾地处沿海经济发达地区, 人类活动也显著影响了海湾内沉积物的沉积格局和沉积环境及沉积过程。厦门湾因独特的沉积动力机制、快速的淤积速度和高强度的人工改造, 其现代沉积环境研究具有重要的科学意义, 同时也可作为海湾的可持续开发利用提供参考。

厦门湾海洋沉积学、沉积动力学研究开展较早, 研究程度较深^[19-25]。但受认识水平和样品分布的限

制, 这些研究大都仅是对厦门湾部分海域的表层沉积物或悬浮泥沙的矿物学或元素地球化学特征的探讨, 结合表层沉积物粒度分布和矿物组成, 利用现代数理统计分析手段对整个厦门湾海域现代沉积环境特征的研究尚未见有报道。随着科学研究的深入和海湾开发的发展, 整个厦门湾现代沉积环境的综合系统研究逐渐深入开展, 在“908 专项”调查中专门立项进行研究, 其中表层沉积物的粒度分布和矿物组成特征为现代沉积环境综合研究提供了必要的资料, 是整个沉积环境特征的有机组成部分。

本文应用系统聚类分析和因子分析的方法分别对厦门湾 112 个表层沉积物样品的粒度组成和其中 35 个样品的矿物组成进行分析。在阐述表层沉积物粒度和矿物组成特征的基础上, 探讨整个厦门湾的现代沉积环境特征, 并对其影响因素进行初步分析。

1 样品采集与分析方法

1.1 样品采集

在厦门湾海域各海区(九龙江河口、厦门外港、厦门西港、同安湾、翔安南部海域、围头湾、料罗湾)共布设了 112 个站位(图 1)。于 2005 年 6 月用蚌式采样器采集表层沉积物, 用塑料勺取最表层 5 cm 的样品, 然后用塑料袋封装, 以备实验室分析所用。

1.2 实验方法与数据分析

对所有的表层样进行了粒度分析, 对其中 35 个

¹ 国家海洋局第三海洋研究所基本科研业务费专项资金项目(编号: 海三科 2008003), 908 专项评价项目(编号: 908-02-05-03)资助。

收稿日期: 2009-02-07 收修改稿日期: 2009-05-21

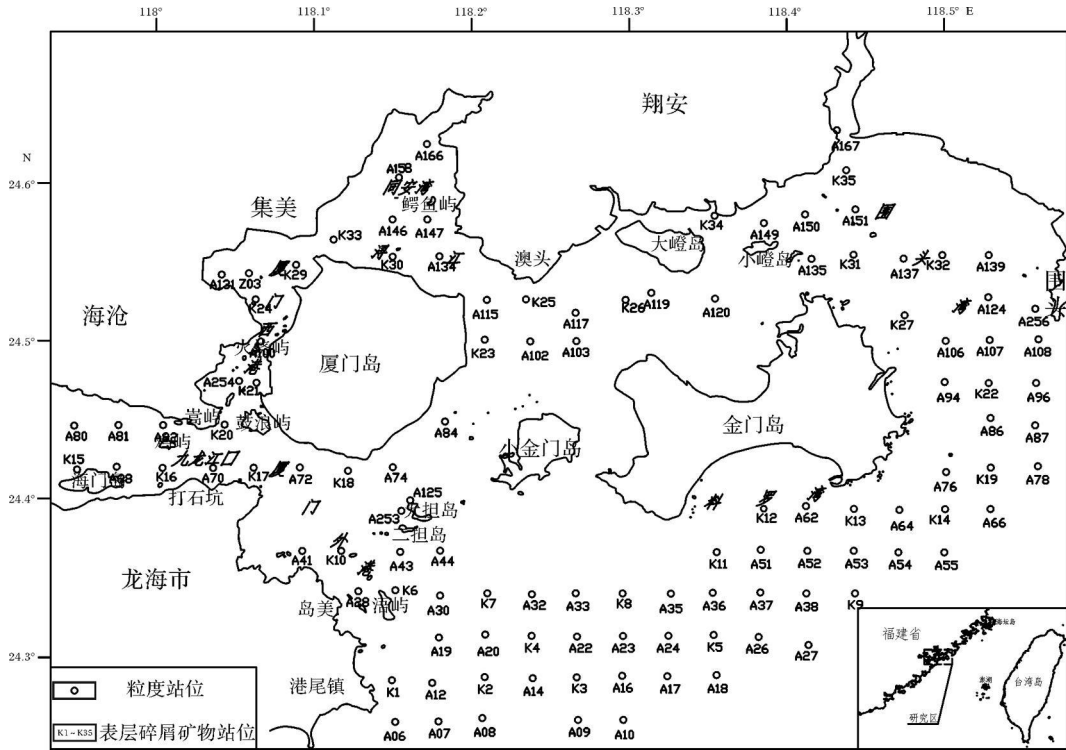


图 1 调查站位位置图

Fig. 1 Location of observation stations

站位样品进行了碎屑矿物分析。

沉积物粒度分析采用 Mastersizer 2000 型激光粒度仪。一般样品过 1 mm 筛, 个别较粗样品过 2 mm 筛; 1 mm 筛全部通过的样品, 直接进行分析; 过筛样品分析后进行对接。同时做平行样 2 到 3 次以保证分析结果的可靠性^[25], 粒度分析的数据采用 SPSS 软件包中聚类分析^[14-15]方法进行分析。

碎屑矿物样品的处理和分析方法按《海洋调查海洋地质地球物理调查规范》(GB/T 12763 8—2007)规定进行。在烧杯中将沉积物样品加入六偏磷酸钠浸泡直至样品完全离散后, 用蒸馏水和试验铜套筛选取 63~125 μm 粒级部分, 将其烘干、称重后采用重液分离法: 取样品 1.5 g 左右利用三溴甲烷 (CHBr₃, 比重 2.88 g/cm³) 分选出轻重矿物, 然后利用体视显微镜和偏光显微镜对轻、重矿物进行鉴定, 鉴定的矿物颗粒数为 300~500 颗。其中不透明矿物以在 MOTIC 体视显微镜下鉴定为主, 透明矿物则采用油浸系统鉴定法在 LEIZE 型偏光显微镜下鉴定, 并辅以微量矿物化学鉴定法检验, 最后根据鉴定结果求得单矿物的颗粒百分含量, 并根据此数据, 利用 SPSS 软件包采取因子分析^[16-17]方法对 35 个样品进行了多元统计分析。

2 结果与讨论

2.1 现代沉积环境划分

沉积物粒度特征可以用于沉积环境的识别, 将沉积物的粒度特征与其形成时的沉积环境联系起来, 可以反演沉积环境。由于采用所有的粒度特征参数进行系统聚类分析不能有效揭示研究区内的沉积环境差异, 各项粒度特征参数之间也可能存在不同程度的内在联系, 需要选择最具特征的粒度参数进行分析, 本文选择相关研究中常用的分选系数、砂粒含量和粘粒含量 3 个特征参数^[18]进行 Q 型聚类分析。采用的聚类方法是组间距离法, 组间距离测定采用欧式距离平方。对于本次研究, 由于三类以上的类别只是对某一大区进行细分, 因此聚为三类是最合适的分类方法, 聚类结果见图 2。根据上述聚类分析结果将研究区分为三类, 分别称为 iv、㊶、㊷类沉积区 (图 3)。各沉积区特点如下:

iv 类沉积区 主要分布于金门岛东侧, 金门岛南部围头—港尾连线的口门处, 九龙江口海门岛附近以及零星散布在翔安南部。该区的沉积物颗粒最粗, 沉积物类型相对单一, 为砂、粉砂质砂和砾石。平均粒径为 0.13~3.92φ, 标准偏差值为 0.48~3.07, 多数

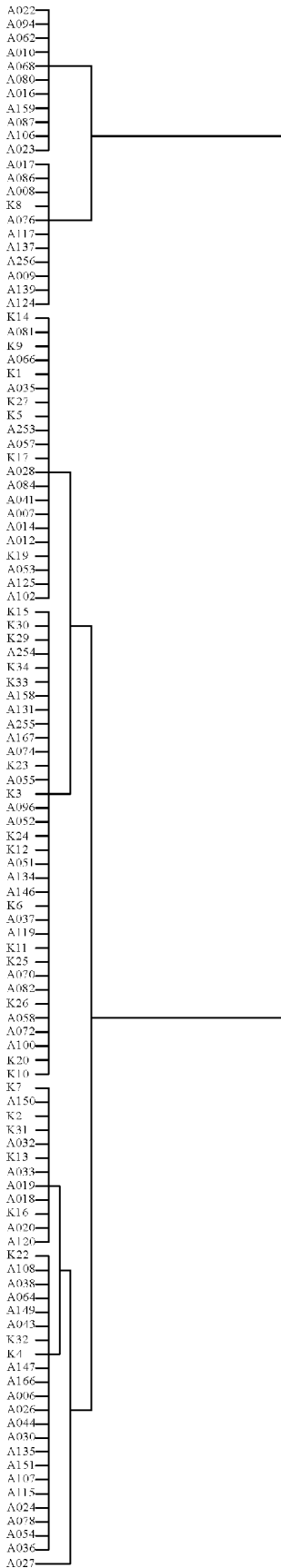


图 2 树状聚类图

大于 1 ϕ 分选极差; 偏态值为 - 0.08 ~ 0.76 绝大多数大于 0.3 极正偏; 峰态值为 0.66 ~ 2.77, 以 1.1 ~ 2.77 居多, 峰度很尖锐。粒度频率分布曲线呈现微弱的双峰, 主峰峰值较高, 各样本不一, 均值约在 1 ϕ , 次级峰峰值较低, 位于 7 ϕ 左右 (图 4)。粒度特征表明该类沉积区以粗颗粒沉积物为主, 从其分布位置来看, 基本对应于水动力环境相对较强或者物源复杂区域。

③类沉积区 分布于研究区大部分范围, 如九龙江口、厦门西海域、同安湾大部分海域、翔安南部和金门岛周围大部分海域以及厦门外港部分海域。沉积物类型以粘土质粉砂、砂质粉砂和粉砂为主, 零星分布有砂—粉砂—粘土沉积类型。该区平均粒径介于 4.80 ~ 7.48 ϕ 之间, 标准偏差值介于 1.3 ~ 3.67 之间, 分选很差, 偏态值介于 - 0.45 ~ 0.17 之间, 以负偏为主, 峰态值介于 0.71 ~ 1.60 之间, 以 1.1 ~ 1.60 居多, 峰度尖锐。粒度频率分布曲线呈现较弱的双峰, 主峰峰值在 7 ϕ , 次级峰各样本不一, 均值约在 2 ϕ , 且主峰含量远远高于次级峰含量 (图 5)。与一类沉积区相比, 该区细颗粒含量增加粗颗粒含量骤减, 与该类沉积区主要处于相对封闭的沉积环境, 水动力条件相对较弱有关。

④类沉积区 主要位于同安湾东部、小嶝岛附近、小金门南部海域以及金门岛东部及南部海域。该区沉积物类型以粉砂质砂为主, 部分区域还有砾石和砂质粉砂。平均粒径介于 - 0.81 ~ 5.35 ϕ 之间, 以 4 ϕ ~ 5 ϕ 为主; 标准偏差值介于 2.35 ~ 4.20 之间, 分选很差; 偏态值介于 - 0.38 ~ 0.63 之间, 从负偏到显著正偏; 峰态值介于 0.55 ~ 1.46 之间, 绝大部分小于 0.9, 峰型平坦。粒度频率分布曲线呈现明显的双峰, 与前两类沉积区相比, 该类沉积区主峰和次级峰峰值比较接近, 主峰各样本不一, 但均值约在 2 ϕ , 次级峰在 7 ϕ , 峰度趋于平坦 (图 6)。沉积物粗颗粒和细颗粒含量趋于接近, 分选变差, 说明由波浪等引起的往复流筛选作用变弱, 沉积环境相对稳定。

2.2 表层沉积物矿物特征

2.2.1 矿物组成

沉积物中的矿物记录了其沉积过程中物源、气候、沉积和环境等方面的丰富信息。对矿物在表生环境下的物理、化学行为的研究是正确理解和获取一些重要的替代性环境指标的基础。研究区内表层沉积物中共鉴定出碎屑矿物 50 种 (包括轻重矿物中都有黑云母、白云母和风化云母), 其中重矿物 38 种, 轻矿物 12 种。碎屑矿物组分见表 1。

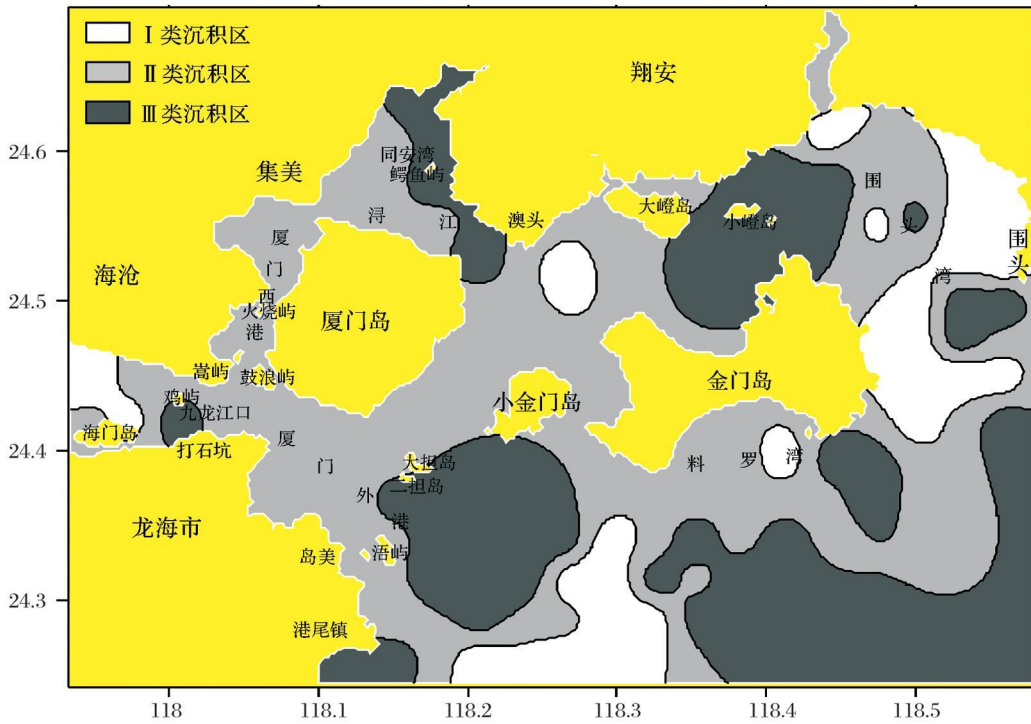


图 3 厦门湾沉积环境分区图

Fig 3 Sedimentary environments of Xiamen Bay

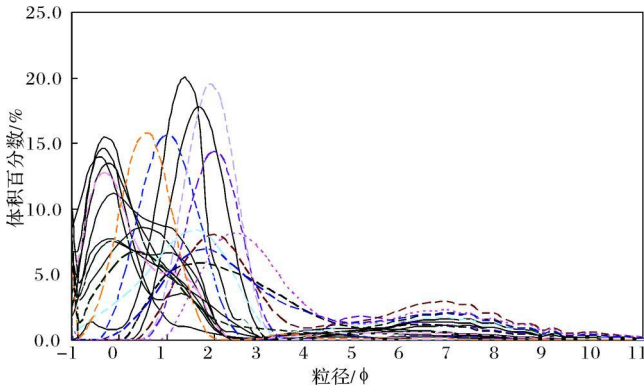


图 4 Ⅰ类沉积区粒度频率分布曲线图

Fig 4 Grain-size frequency of the first deposition zone

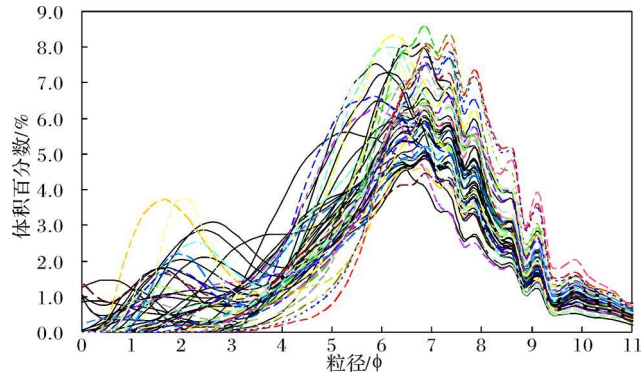


图 5 Ⅱ类沉积区粒度频率分布曲线图

Fig 5 Grain-size frequency of the second deposition zone

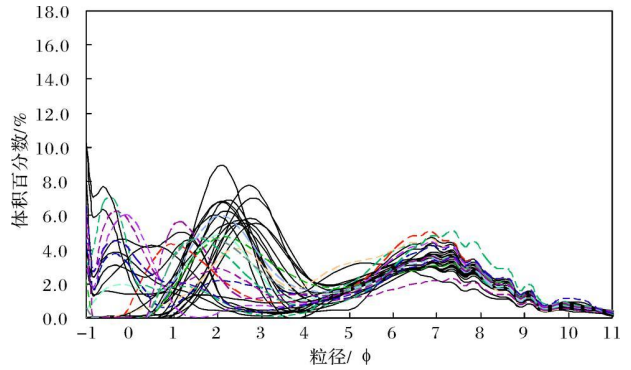


图 6 Ⅲ类沉积区粒度频率分布曲线图

Fig 6 Grain-size frequency of the third deposition zone

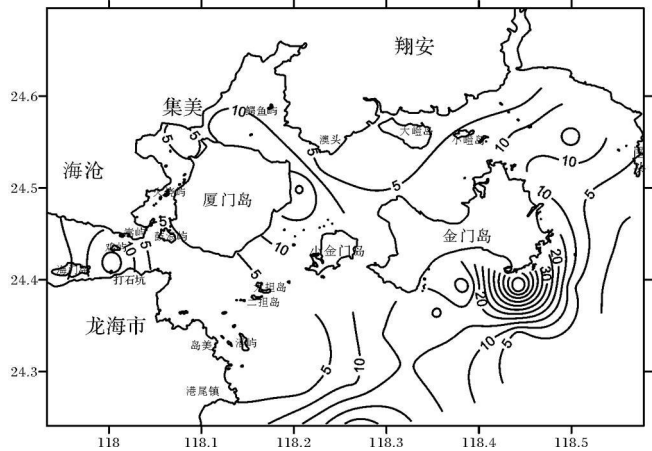


图 7 重矿物质量百分含量分布图

Fig 7 Quality percentage content distribution of heavy minerals

表 1 厦门湾表层沉积物矿物组分表

Table 1 Surface mineral composition of Xiamen bay

含量	矿物名称
重矿物	主要 磁铁矿、钛铁矿、褐铁矿、赤铁矿、绿帘石、角闪石、锆石
	次要 白钛矿、自生黄铁矿、自生菱铁矿、透闪石、阳起石、电气石、黑云母、白云母、斜黝帘石、红柱石、锐钛矿、褐帘石、红帘石、绿泥石、石榴石、黝帘石、磷灰石、楣石、紫苏辉石、金红石、独居石、透辉石、磷钇矿、浊沸石、斜方辉石、蛇纹石、方铅矿、黄晶、重晶石、硅线石
	少量 石英、斜长石、钾长石
轻矿物	主要 黑云母、白云母、风化云母、生物碎屑、有孔虫壳
	次要 文石、方解石、海绿石、绿泥石
	少量

2.2.2 重矿物分布特征

碎屑矿物中重矿物含量是个重要的参数,其含量变化可以直观地表达重矿物、细砂粒级颗粒在空间上的变化,对沉积物的物质来源、海底风化作用等具有明显的指示意义^[26]。整个研究区重矿物重量百分含量范围为 0.3% ~ 62.59%,平均值为 8.81%,远远高于台湾海峡重矿物平均百分含量 0.95%^[27],表明研究区内矿物主要为陆源输入,就近沉积所致。从图 7 可以看出,重矿物百分含量高值区主要在九龙江口、厦门西港、厦门岛东部海域以及金门附近近岸海域,平均含量在 15% ~ 30% 之间,尤其以金门东南近岸尤为明显,达到 60% 以上。相对而言,大嶝岛附近及厦门岛南部靠近龙海市海域重矿物含量相对较低。

2.2.3 因子分析

因子分析是一种多元统计数学方法,用其可以解释数据集合,分析多个变量间的关系,其目的在于对大量观测数据用较少的有代表性的因子来说明众多变量所提取的主要信息^[28]。因子分析一般采用 R 型分析,用以研究变量之间的关系以找到影响研究区矿物分布及其它要素分布的因素^[17,29]。

对所鉴定的 38 种重矿物中百分含量相对较高的 23 种矿物,分成 13 种类别进行因子分析:磁铁矿、钛铁矿、褐铁矿、赤铁矿、白钛矿、自生黄铁矿、自生磷铁矿、帘石类(包括绿帘石、红帘石、褐帘石和斜黝帘石)、闪石类(包括普通角闪石、透闪石和阳起石)、片状矿物(包括黑云母、白云母和绿泥石)、极稳定矿物(包括锆石、金红石、电气石和独居石)、石榴石、变质矿物(包括磷灰石、楣石、紫苏辉石、红柱石和硅线石),参与因子分析的矿物种类及百分含量见表 2。

根据原始变量得到的相关矩阵,计算全部特征值和特征向量,使用主成分分析法提取公因子,表 3 为各主成分的公因子方差表,前 6 个因子已经对绝大多数数据给出了充分的概括,所解释的方差占总方差的 80.549%。表 4 为 6 个主因子的荷载矩阵,因子分析

所表明的各主因子的意义如下:

因子 1 正方向主要重矿物为褐铁矿、帘石类、片状矿物和闪石类等,负方向主要为极稳定矿物、钛铁矿、磁铁矿等。因子 1 反映了矿物自身的稳定性高低,即矿物抗风化能力的强弱,因子 1 反映了矿物自身抗风化能力对表层沉积物分布的影响。因子 1 解释信息的 25.354%。

因子 2 正方向主要重矿物为极稳定矿物、钛铁矿、白钛矿、自生黄铁矿以及闪石类等,负方向主要为磁铁矿、变质矿物、石榴石等。因子 2 反映了物质来源对表层沉积物分布的影响,解释信息的 17.443%。

因子 3 正方向主要重矿物为自生黄铁矿、自生菱铁矿、褐铁矿等,负方向主要为帘石类和闪石类等。因子 3 反映了沉积环境因素的影响作用,自生黄铁矿的形成条件要求弱还原沉积环境、水动力弱等,解释信息的 12.209%。

因子 4 正方向主要重矿物为赤铁矿、变质矿物、片状矿物等,负方向主要为石榴石、磁铁矿等。因子 4 表明矿物沉积时,区域水动力强弱决定了矿物组成及其组合,解释信息的 10.849%。

因子 5 正方向主要重矿物为变质矿物、白钛矿和闪石类等,负方向主要为钛铁矿、石榴石、赤铁矿等。因子 5 表明矿物沉积时,矿物自身的变质程度决定了矿物组成及其组合,解释信息的 7.423%。

因子 6 正方向主要重矿物为自生菱铁矿、闪石类等,负方向主要为片状矿物。因子 6 表明矿物沉积时,矿物的搬运距离决定了矿物组成及其组合,解释信息的 7.271%。

利用因子分析解释影响重矿物分布发生差异的因素时,由于作为因变量的矿物种类很多,必然会有一些的多解性。因子分析结果表明,因子 1 矿物自身抗风化能力和因子 2 物质来源对表层沉积物中重矿物分布的影响因素分别占 25.354% 和 17.443%,其中因子 1 中矿物组合以磁铁矿和钛铁矿含量为主,而

磁铁矿、钛铁矿是研究区表层沉积物中含量最多的矿物,也是研究区周缘母岩的主要副矿物,从这个意义上来说,物质来源对研究区表层沉积物中重矿物的分布起着最主要的作用,其次是沉积环境、水动力条件、矿物自身的变质程度及搬运距离等因素。

2 3 沉积环境及物源探讨

2 3 1 沉积环境

iv类沉积区位于九龙江入海口海门岛西北海域、围头一港尾连线口门处及围头湾湾口,这类沉积区水动力相对较强,其中九龙江入海口为河流和潮流相互作用的地区,围头一港尾连线口门处和围头湾湾口均

为台湾海峡潮波进出厦门湾的必经通道,因此该类沉积区在强劲的涨落潮流作用下使得该区内沉积物颗粒较粗。iv类沉积区沉积物粒度最粗,沉积物类型单一,分选最差,分布范围较小,表明该类沉积区受到了较强的水动力作用。㊟类沉积区广布于研究区范围之内,其中厦门西港、同安湾处于相对封闭的沉积环境,水流交换相对较弱,且受到大小金门岛、大担、二担、青屿等众多岛屿的庇护,该类沉积区水动力条件相对较弱,因此该区沉积物以细颗粒为主,分选相对较好,代表了相对稳定的沉积环境。㊟类沉积区特点介于前两者之间,属于过渡沉积环境。

表 2 表层沉积物重矿物颗粒百分含量表 (%)

Table 2 Gran percentage content of heavy minerals in surface (%)

站号	磁铁矿	钛铁矿	褐铁矿	赤铁矿	白钛矿	自生 黄铁矿	自生 菱铁矿	帘石类	闪石类	片状 矿物	极稳定 矿物	石榴石	变质 矿物
K1	23.76	19.06	11.49	5.74	0.00	0.78	0.00	16.97	18.80	1.04	1.04	1.04	0.00
K2	31.10	27.13	9.45	2.74	2.74	0.30	0.30	8.54	8.23	1.52	7.01	0.00	0.30
K3	17.11	24.48	9.14	2.65	3.54	1.18	0.29	9.14	14.16	10.62	7.37	0.00	0.00
K4	18.47	35.51	5.68	1.99	2.56	0.00	1.99	15.34	9.09	1.42	7.10	0.00	0.00
K5	11.18	32.93	9.06	1.21	3.63	1.81	4.53	6.34	12.39	7.55	8.76	0.00	0.30
K6	23.46	17.53	16.05	5.43	0.49	1.23	2.72	8.89	16.30	4.44	2.96	0.49	0.00
K7	15.33	27.00	19.50	8.17	1.17	0.00	0.00	11.33	11.50	3.17	1.50	0.50	0.50
K7	16.90	23.24	4.93	29.93	2.46	0.00	0.70	2.11	7.39	8.10	3.17	0.00	1.06
K9	11.65	15.19	9.62	4.56	1.27	0.76	0.00	23.29	25.57	7.34	0.25	0.00	0.00
K10	9.64	9.64	7.63	24.10	0.00	0.40	0.40	18.47	18.47	10.04	0.40	0.00	0.40
K11	10.58	20.44	8.39	4.01	1.46	0.00	0.36	22.99	19.71	6.93	5.11	0.00	0.00
K12	11.20	20.49	7.65	4.64	1.64	0.55	0.27	14.75	19.95	13.66	4.64	0.00	0.27
K13	24.00	35.64	4.36	0.00	1.82	1.09	0.00	3.64	6.18	5.09	17.09	0.00	0.36
K14	21.08	45.41	0.81	0.54	3.24	1.08	0.00	0.27	6.76	0.00	20.27	0.27	0.00
K15	31.58	2.81	16.14	11.23	0.35	0.35	0.00	14.39	14.39	8.07	0.70	0.00	0.00
K16	56.69	16.11	2.30	5.23	1.05	0.21	0.00	5.44	6.90	0.42	4.81	0.21	0.21
K17	28.53	9.91	19.22	7.81	2.10	0.60	0.30	12.01	14.71	2.70	1.80	0.30	0.00
K18	25.61	32.52	15.45	1.63	0.81	0.41	0.41	9.76	7.32	0.81	4.47	0.41	0.41
K19	12.45	26.46	2.92	0.00	1.36	1.56	0.00	21.01	17.32	3.11	13.62	0.19	0.00
K20	11.81	4.27	32.91	10.55	1.26	0.25	0.00	23.37	7.04	8.04	0.50	0.00	0.00
K21	27.13	24.20	9.57	20.21	0.53	0.27	0.80	8.51	5.59	1.60	1.60	0.00	0.00
K22	12.96	57.75	0.85	1.41	3.66	0.28	0.00	4.79	6.20	3.10	7.32	0.56	0.00
K23	66.60	7.94	5.09	4.28	1.02	0.00	0.00	7.54	1.02	2.04	3.46	0.20	0.61
K24	27.29	21.79	9.63	5.50	1.83	0.23	0.00	15.14	4.82	7.80	4.36	0.46	0.46
K25	66.76	10.80	3.41	3.69	2.27	0.28	0.28	5.97	1.99	1.70	1.99	0.57	0.28
K26	10.31	7.99	21.91	15.46	1.03	1.55	0.00	15.21	14.43	10.57	0.77	0.00	0.77
K27	7.30	5.95	18.38	3.24	1.62	1.62	0.27	15.95	4.86	39.19	0.81	0.00	0.00
K28	44.15	4.44	1.41	1.21	3.63	0.20	0.00	14.11	23.79	1.21	4.64	0.00	0.81
K29	27.78	0.58	27.78	2.92	1.46	3.80	0.58	14.04	1.75	9.94	0.88	0.58	0.58
K30	23.34	2.70	10.07	22.60	0.00	0.49	0.00	4.91	12.53	21.13	1.97	0.25	0.00
K31	49.05	16.77	3.80	3.16	4.11	0.32	0.00	5.70	10.76	1.90	2.53	0.63	0.63
K32	59.55	15.33	3.02	2.01	0.75	0.25	0.00	5.03	5.78	1.51	5.28	0.25	0.50
K33	52.23	14.01	1.75	8.60	0.32	0.32	0.16	8.44	6.69	3.66	3.03	0.32	0.48
K34	24.57	12.90	15.88	3.47	1.74	0.00	0.00	16.63	12.66	10.42	1.74	0.00	0.00
K35	32.78	12.03	8.73	2.28	1.14	0.13	0.00	25.06	13.16	1.90	2.41	0.25	0.00

表 3 表层沉积物总方差分解表

Table 3 Total variance explained in surface sediment

因子	初始特征值			主要因子提取		
	特征值	所占百分数累积百分数		特征值	所占百分数累积百分数	
		F%	F%		F%	F%
1	3.296	25.354	25.354	3.296	25.354	25.354
2	2.268	17.443	42.797	2.268	17.443	42.797
3	1.587	12.209	55.006	1.587	12.209	55.006
4	1.410	10.849	65.854	1.410	10.849	65.854
5	0.965	7.423	73.278	0.965	7.423	73.278
6	0.945	7.271	80.549	0.945	7.271	80.549
7	0.741	5.700	86.249			
8	0.628	4.833	91.083			
9	0.556	4.276	95.359			
10	0.301	2.315	97.674			
11	0.194	1.489	99.163			
12	0.108	0.833	99.995			
13	0.001	0.005	100.000			

表 4 表层沉积物因子荷载矩阵

Table 4 Component matrix in surface sediment

	因子					
	1	2	3	4	5	6
极稳定矿物	-0.737	0.449	-0.018	0.049	-0.070	-0.242
钛铁矿	-0.732	0.450	-0.096	0.061	-0.348	0.115
褐铁矿	0.713	0.124	0.384	-0.245	-0.054	0.056
帘石类	0.676	0.278	-0.419	-0.307	0.224	-0.020
白钛矿	-0.596	0.334	0.124	0.137	0.452	-0.090
片状矿物	0.572	0.267	0.359	0.245	-0.066	-0.445
磁铁矿	-0.373	-0.795	-0.004	-0.205	0.204	-0.085
变质矿物	-0.143	-0.504	0.325	0.389	0.475	0.139
自生黄铁矿	0.149	0.394	0.711	-0.286	0.177	-0.016
闪石类	0.350	0.376	-0.584	0.035	0.345	0.300
石榴石	-0.206	-0.342	0.173	-0.671	-0.210	0.297
赤铁矿	0.456	-0.320	0.038	0.648	-0.336	0.229
自生菱铁矿	-0.123	0.432	0.358	0.154	0.050	0.638

2.3.2 物质来源

因子分析结果显示物质来源对研究区表层沉积物重矿物的分布起着最主要的作用,因此,对物质来源的探讨显得很有必要。

入海泥沙是厦门湾海底物质主要来源之一。厦门湾周围有多条大小河、溪入湾,根据九龙江北溪浦南站和西溪郑店站 1950~1961 年资料,悬移质多年平均输沙量 244×10^4 t,最多 647×10^4 t,最少 100×10^4 t,主要集中在汛期(6—9月),特别是台风暴雨、山洪爆发时期,是枯水期的 600 多倍,10 年统计平均水流含沙量 $0.165 \text{ mg}/\text{dm}^3$,丰水期最大 $0.38 \text{ mg}/\text{dm}^3$ 。除了九龙江外,厦门湾周缘还有多条溪流,包括南溪、东、西溪、西林溪(图 1)等。其中南溪作用

相对较小,主要是红柱石、角闪石等矿物的搬运渠道^[22];同安湾的泥沙来自于东、西溪及其海湾周边小溪流的入海泥沙、土崖岸冲塌的产物,还有随涨潮流携带入湾的泥沙;西林溪为厦门第三大溪流,流域面积 90.4 km^2 ,多年平均径流总量 0.78 亿 m^3 ,平常水流不足 $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 下雨时流量较大,水流较急,西林溪两岸植被较好,水土不易冲刷,泥沙很少,水较清;而大嶝岛南侧沿岸陆地植被较差,区内有多处冲沟,经侵蚀、剥蚀的物质由水流作用直接带入海。

海洋沉积物中重矿物组分特征与其物源区母岩性质密切相关。厦门湾周缘岩石种类繁多,控制和影响研究区重矿物分布的因素比较复杂,每一分区的形成往往是多种因素综合作用的结果。燕山早期侵入岩在该区大面积分布;九龙江流域及其河口周边地区广泛分布着燕山期不同期次花岗岩、二长花岗岩及晚侏罗世的酸性和中酸性火山岩,湾口及厦门西港两侧为大面积变质火山岩。九龙江河口区、厦门外港中磁铁矿、钛铁矿和锆石含量较高,这可能既是受研究区西面石壁山、岩山大片与黑云母花岗岩同源的细粒花岗岩控制,也受径流影响的结果^[21]。南溪峨浪山的变质火山岩和南溪以南的花岗闪长岩,分别盛产红柱石和角闪石,其中尚有丰富的黑云母,南溪以东发育的酸性侵入岩是磁铁矿的主要母岩之一。大金门岛、小金门岛、大担岛、二担岛、龙海市岛美至港尾之间沿海地区、翔安内陆、围头角广泛发育喜山期变质岩,其副矿物以磁铁矿、钛铁矿居多。研究区内表层沉积物重矿物的优势种类有磁铁矿、钛铁矿、褐铁矿、赤铁矿、绿帘石、角闪石、锆石、片状矿物。这些优势矿物均与厦门周缘陆地母岩有关,厦门湾海域海底沉积物具有较好的亲陆性,因此,厦门湾周缘基岩风化侵蚀产物是厦门湾表层沉积物的来源之一。

厦门湾受潮流的影响比较大,在涨潮流的作用下,可能有一些来自台湾海峡的物质也会进入并沉积到研究区内各个海区之中。

由此可见,厦门湾表层沉积物的主要物质来源为九龙江径流和厦门湾周缘基岩风化侵蚀产物以及部分来自台湾海峡的物质。

3 结论

(1) 根据粒度分析结果,采用系统聚类方法将研究区分为三类沉积区,分别代表了不同的沉积环境。

(2) 厦门湾表层沉积物中共发现碎屑矿物 50 种,其中重矿物 38 种,其优势矿物为磁铁矿、钛铁矿、

褐铁矿、赤铁矿、绿帘石、角闪石、锆石。影响厦门湾表层沉积物中重矿物的分布及含量变化的首要因素是物质来源, 其次是沉积环境、水动力条件、矿物自身的变质程度及搬运距离等。

(3) 厦门湾表层沉积物主要由九龙江等入海泥沙和厦门湾周缘基岩风化侵蚀产物组成, 部分为来自台湾海峡的物质。

参考文献 (References)

- 徐茂泉, 陈友飞编著. 海洋地质学 [M]. 福建厦门: 厦门大学出版社, 1999: 1-103 [Xu M aoquan, Chen Youfei Marine Geology [M]. Fujian X ian en X im en University Press 1999 1-103]
- 沈焕庭, 朱建荣. 论我国海岸带陆海相互作用研究 [J]. 海洋通报, 1999, 18(6): 11-17 [Shen Huangting Zhu Jianrong The land and ocean interactions in the coastal zone of China [J]. Marine Science Bulletin, 1999, 18(6): 11-17]
- 杜国云, 王庆, 王秋贤, 等. 莱州湾东岸海岸带陆海相互作用研究进展 [J]. 海洋科学, 2007, 31(3): 66-71 [Du Guoyun, Wang Qing Wang Q iux ian, et al Research advances on the marine-land interaction in east coast of Laizhou Bay [J]. Marine Sciences, 2007, 31(3): 66-71]
- Halks J R. Significance of statistical parameters for distinguishing sedimentary environments in New South Wales Australia [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1967, 37: 1059-1069
- Friedman G M. Address of retiring president of the international association of sedimentology: Difference in size distributions of populations of particles among sands from various origins [J]. Sedimentology, 1979, 26: 3-22
- McClaren P, Bowles D. The effects of sediment transport on grain-size distributions [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1979, 55: 457-470
- Lihou J C, M ange-R ajatzky M A. Provenance of the Sardona Flysch eastern Swiss Alps Example of high resolution heavy-mineral analysis applied to an ultra-stable assemblage [J]. Sedimentary Geology, 1996, 105: 141-157
- Morton A C, Berge C. Heavy-mineral suites in the Statfjord and Nansen Formations of the Brent Field North Sea A new tool for reservoir subdivision and correlation petroleum geoscience [J]. Sedimentary Geology, 1995, 1: 355-364
- Morton A C, Hurst A. Correlation of sandstones using heavy-minerals an example from the Statfjord Formation of the Snorre Field North Sea [C] // Duany R A, Hailwood A E, eds Non-Biostratigraphical Methods of Dating and Correlation Geological Society of London Special Publication 1998 89 3-23
- Miskankar P G, Gujjar A R. Heavy mineral distribution in the surficial sediments from the eastern continental margin of India and their implications on paleoenvironment [J]. Indian Journal of Earth Sciences, 1996, 23(3-4): 91-97
- 林振宏, 吕亚男, 高学民, 等. 冲绳海槽中部表层沉积物的重矿物分布和来源 [J]. 中国海洋大学学报, 1996, 26(3): 361-368 [Lin Zhenhong Lv Yanan, Gao Xue min, et al Distribution and sources of heavy minerals in the surface sediment in the middle Okinawa trough [J]. Periodical of Ocean University of China 1996 26(3): 361-368]
- 杨群慧, 林振宏, 张富元, 等. 南海中东部表层沉积物矿物组合分区及其地质意义 [J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(6): 591-599 [Yang Qunhui Lin Zhenhong Zhang Fuyuan et al Mineral assemblage provinces for surficial sediments of the central-eastern south China sea and their geological significances [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2002, 33(6): 591-599]
- 张富元, 章伟艳, 杨群慧. 南海东部海域沉积物粒度分布特征 [J]. 沉积学报, 2003, 21(3): 452-460 [Zhang Fuyuan Zhang Weiyuan, Yang Qunhui Characteristics of grain size distributions of surface sediments in the eastern south China sea [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(3): 452-460]
- 李伟, 王建新. R 型聚类分析在确定成矿岩体中的应用——以延边复兴—杜荒岭金矿化集中区为例 [J]. 世界地质, 2003, 22(2): 147-151 [Li Wei Wang Jianxin Application of R type clustering analysis in defining mineralization-related rock body: Taking example for gold mineralization focus region in Fuxing-duhuangling of Yanbian Area [J]. Global Geology, 2003, 22(2): 147-151]
- 张光威. 南黄海陆架沉积环境的聚类分析 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1993, 13(3): 67-74 [Zhang Guangwei Cluster analysis of sedimentary environment of the south yellow sea shelf [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1993, 13(3): 67-74]
- 武法东, 陆永潮, 阮小燕, 等. 重矿物聚类分析在物源分析及地层对比中的应用——以东海陆架盆地西湖凹陷平湖地区为例 [J]. 现代地质, 1996, 10(3): 397-403 [Wu Fadong Lu Yongchao Ruan Xiaoyan, et al Application of heavy minerals cluster analysis to study of clastic sources and stratigraphic correlation [J]. Geoscience, 1996, 10(3): 397-403]
- 杨东宁, 袁东星. 主成分分析法用于厦门西港和香港维多利亚港沉积物样品分类研究 [J]. 海洋环境科学, 1998, 17(3): 61-66 [Yang Dongning Yuan Dongxing Application of principal component analysis to sediment sample classification [J]. Marine Environmental Science, 1998, 17(3): 61-66]
- 李玉中, 陈沈良. 系统聚类分析在现代沉积环境划分中的应用——以崎岖列岛海区为例 [J]. 沉积学报, 2003, 21(3): 487-494 [Li Yuzhong Chen Shenliang Application of system cluster analysis to classification of modern sedimentary environment A case study in Qiqi Archipelago Area [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(3): 487-494]
- 蔡爱智, 蔡月娥, 朱孝宁, 等. 福建九龙江口入海泥沙的扩散和河口湾的现代沉积 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1991, 11(1): 57-67 [Cai Aizhi Cai Yue'e, Zhu Xiaoning et al Diffusion and modern sedimentation of seaward transporting discharges in the estuary of Jir-longjiang river Fujian province [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1991, 11(1): 57-67]
- 蔡锋, 黄敏芬, 苏贤泽, 等. 九龙江河口湾泥沙运移特点与沉积动力机制 [J]. 台湾海峡, 1999, 18(4): 418-424 [Cai Feng Huang Minfen, Su Xianze, et al Characteristics of silt movement and sedimentation in the estuary of the Jiulong River [J]. Taiwan Strait, 1999, 18(4): 418-424]

- mentary dynamic mechanism in Jiulongjiang Estuary [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait 1999, 18(4): 418-424
- 21 徐茂泉. 九龙江口表层沉积中碎屑矿物的研究 [J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 1994, 33(5): 675-680 [Xu Maoquan. Study on fragmentary minerals surface sediments in Jiulong River Estuary [J]. Journal of Xiamen University: Natural Science, 1994, 33(5): 675-680]
- 22 洪辉亮. 厦门港重矿物研究 [J]. 海洋学报, 1993, 15(3): 49-62 [Hong Huiliang. Heavy mineral study of Xiamen Port [J]. Acta Oceanologica Sinica 1993, 15(3): 49-62]
- 23 洪辉亮, 陈峰. 九龙江口一岩心的重矿物组合 [J]. 台湾海峡, 2003, 22(1), 65-78 [Hong Huiliang, Chen Feng. Characteristics of heavy minerals in a core from Jiulongjiang Estuary [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait 2003, 22(1), 65-78]
- 24 陈华胄, 郭永谋, 杨顺良. 九龙江入海口重矿物的迁移及其对厦门西港南部淤积的影响 [J]. 热带海洋, 1994, 13(1): 39-46 [Chen Huazhou, Guo Yongmou, Yang Shunliang. Removal of heavy minerals in Jiulong river estuary and its effect on the siltation in the south part of Xiamen west harbour [J]. Journal of Tropical Oceanography, 1994, 13(1): 39-46]
- 25 李桂海, 曹志敏, 蓝东兆, 等. 厦门海域现代沉积环境与重金属环境地球化学特征 [J]. 沉积学报, 2006, 24(6): 870-876 [Li Guohai, Cao Zhimin, Lan Dongzhao, et al. Environmental geochemistry characteristics of heavy metals and depositional environment in Xiamen Seas [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2006, 24(6): 870-876]
- 26 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 [Wang Kunshan, Wang Guoqing, Cai Shanwu, 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]
- 27 陈华胄. 台湾海峡表层沉积物中重矿物特征及其物质来源 [J]. 台湾海峡, 1993, 12(2): 136-143 [Chen Huazhou. Characteristics and sources of heavy minerals in surface sediment of Taiwan Strait [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait 1993, 12(2): 136-143]
- 28 王庆杰, 马民涛. 因子分析在环境科学与环境工程中的应用 [J]. 北京工业大学学报, 2000, 26 72-76 [Wang Qingjie, Ma Mintao. Application of factor analysis in environmental science and environmental engineering [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2000, 26 72-76]
- 29 孟宪伟, 杜德文, 吴金龙. 成分数据的因子分析及其在地质样品分类中的应用 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2000, 30(4): 367-370 [Meng Xianwei, Du Dewen, Wu Jinlong. Factor analysis for compositional data and its application to the classification of geological samples [J]. Journal of Jilin University Earth Science Edition, 2000, 30(4): 367-370]
- 30 陈华胄. 湄洲湾重矿物组合及分布特征 [J]. 台湾海峡, 1992, 11(3): 211-217 [Chen Huazhou. Assemblages and distribution characteristics of heavy minerals in Meizhou Bay [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait 1992, 11(3): 211-217]

Study of Modern Sedimentary Environment in the Xiamen Bay

FANG Jian-yong¹ CHEN Jian¹ LIYun-hai¹ KE Shu-yun²

(1. Third Institute of Oceanography, SOA, Xiamen Fujian 361003; 2. Oceanic and Fishery Bureau of Fujian Province, Fuzhou 350003)

Abstract Hierarchical clustering and factor analysis are respectively applied to grain-size and mineral analysis of sediment samples collected at 112 and 35 stations respectively in the Xiamen Bay. The results showed that the Xiamen Bay can be divided into three types of depositional environment areas corresponding to its sedimentary dynamics properties. Fifty kinds of minerals were found in surface sediment samples, including 38 kinds of heavy minerals. The main heavy minerals include magnetite, ilmenite, limonite, hematite, epidote, hornblende, zircon, and so on. Surface sediments in the Xiamen Bay mainly included the suspended particles discharged from the Jiulongjiang and the particles materials of efflorescent rock around the Xiamen Bay, and partly came from the Taiwan Strait. Different source of particles was confirmed to be the mainly influencing factor of the characteristics of the minerals' distribution.

Key words Xiamen bay; modern sedimentary environment; grain size; heavy mineral