文章编号:1000-0550(2015)04-0724-11

福建安海湾表层沉积物粒度特征及其现代沉积过程分析^①

李东义! 徐勇航! 王爱军! 郑斌鑫! 李国刚2

(1.国家海洋局第三海洋研究所海洋与海岸地质环境开放实验室 福建厦门 361005;2.国家海洋局北海分局北海海洋工程勘察研究院 山东青岛 266033)

摘 要 通过对福建安海湾表层沉积物的粒度分析和对比,应用系统聚类分析、粒径趋势模型和切应力计算公式,探 讨了研究区粒度的分布特征、沉积环境分区、表层沉积物输运趋势及其影响因素。研究结果表明,研究区包括 6 种表 层沉积物类型,以黏土质粉砂和粉砂为主,沉积物大体呈现自海湾两侧潮滩向潮汐通道变粗的分布趋势。表层沉积 物粒度的分布特征与水动力条件和物质来源密切相关,湾口附近及湾内深槽内,细颗粒的沉积物被再悬浮带走,粗颗 粒的含量增大;在湾内潮滩上,悬浮物质因水动力作用逐渐减弱发生分选沉降,形成向岸变细的横向分异。海湾外泥 沙随潮流不断地向海湾东侧岸滩运移,海湾周边陆源来沙由湾顶部往湾口方向下泄,两者是导致表层沉积物出现明 显的顺时针方向汇聚趋势的原因之一;表层沉积物的输运趋势、悬浮泥沙的输运、潮滩植被与湾口沙嘴的遮蔽效应共 同影响了研究区内浅滩地形的形成和变化。研究区可分为四类沉积环境区,以潮滩和潮汐通道环境为主,不同沉积 区内的粒度参数、粒级频率和敏感粒级均有差异,动力条件差异和不同物源的影响程度是现代沉积环境格局的主要 影响因素。

关键词 粒度 沉积环境 沉积动力 粒径趋势分析

第一作者简介 李东义 男 1981年出生 硕士 助理研究员 海洋沉积学、沉积动力学 E-mail:lidongyi1981@ 163.com

中图分类号 P736.21 文献标识码 A

0 引言

浅海港湾是海岸系统的重要组成部分,这些区域 湿地广布,动、植物资源丰富,港口航运发达,海陆相 互作用最为敏感和强烈,具有重要的生态意义和经济 价值,同时也是人类活动最为强烈的区域之一,其现 代沉积环境深受河流、海洋及人类活动的影响,沉积 过程复杂^[1-5]。沉积物粒度特征及其分布是沉积物的 基本性质之一,其空间分布主要受控于区域物源、水 动力、植被分布等因素^[6-7],蕴含了丰富的海洋沉积方 面的信息。不同的沉积环境有特定的沉积物粒度参 数及其组合特征,因此,利用粒度参数可以提取沉积 物的物质来源信息^[8],识别沉积环境的类型^[9-12],反 映沉积过程中的水动力条件^[13-15],推断沉积物扩散、 搬运与沉积过程^[16-17],还可以指示底质沉积物的输 运方向及输运强度^[18-19]。

福建省安海湾是我国东南沿海典型的小型半封 闭性港湾,环湾经济发展迅速,码头林立,海湾内湿地 广布,海陆交互作用强烈。本文通过对安海湾内表层 沉积物粒度资料的详细研究,结合系统聚类分析和粒 径趋势分析模型,分析安海湾的表层沉积物的分布特 征和现代沉积环境,尝试探讨海湾内的沉积动力过程 及其机制,为区域开发和环境保护提供科学依据。

1 研究区域概况

安海湾位于福建省泉州市东南沿海,紧邻厦门 湾,与台湾金门县隔海相望。安海湾属于构造成因海 湾,但因后期泥沙的沉积,已演变成东西向狭窄,南北 向延伸的狭长半封闭型海湾^[20]。海湾湾口发育沙嘴 和砂坝,湾内潮滩十分发育,可见众多树枝状潮沟,水 域面积较小,水深较浅,自北向南逐渐变深^[20]。安海 湾平均潮差大于4m,属强潮海湾,潮汐类型为正规 半日潮,潮流为地形控制的稳定往复流,落潮流历时 与涨潮流历时相差不大;由于安海湾为深入陆地的狭 长型海湾,湾口狭窄,波浪作用较弱^{[20]②}。安海湾北 半部有诸条小河溪注入,泥沙来源较为丰富^[20];海湾 内悬浮泥沙主要受潮流的影响,含沙量高值一般出现 在涨、落急时段,低值一般出现在涨、落憩时段^②。

收稿日期:2014-06-30;收修改稿日期:2014-11-07

①福建省自然科学基金(编号:2014J01158)、国家海洋局第三海洋研究所基本科研业务费(编号:海三科 2014015)与国家自然科学基金项目(批准 号:41076035)联合资助

②国家海洋局第三海洋研究所.泉厦漳城市联盟高速公路工程水文观测与分析研究报告[R].2013.





图 1 研究区位置与调查站位 Fig.1 The study area and station locations

2 研究方法

2.1 样品采集与实验分析

2013 年 8 月,利用蚌式抓斗在福建安海湾采集 了 62 个站位的表层沉积物样品,调查区域与站位见 图 1。样品均取自表层 5 cm 的沉积物,现场描述后 装入样品袋密封,以备实验室内分析。水文数据采用 研究区内 2013 年 8 月在 SW-1 和 SW-2 站位开展的 实测水文资料^①。

粒度分析采用激光粒度仪和筛析法相结合的方法。将采集回来的样品充分混合后取样,当样品中含有砾石的颗粒时,对样品过筛,将大于1 mm 的样品利用筛析法进行粒度分析,获得 1/2 φ 间隔的粒度分布数据;对无砾石样品和过筛后的细颗粒样品加入 0.5%的六偏磷酸钠((NaPO₃)₆)浸泡 24 h,使沉积物颗粒充分分散,利用英国 Malvern 公司生产的 Mastersizer2000 型激光粒度仪进行粒度分析,获得 1/4 φ 间隔的粒度分布数据。最后,合并激光粒度仪和筛析法的数据。样品前处理和粒度分析均在国家海洋局第三海洋研究所海洋与海岸地质环境开放实验室完成。

2.2 数据处理与分析

根据实验分析的粒度数据,计算了砾石、砂、粉砂 和黏土的颗粒组分含量^[21],利用谢帕德分类法对不 含砾石的沉积物类型进行分类,含砾石的沉积物类型 采用福克分类法分类;粒度参数使用矩值法计算^[22], 参考国家标准划分粒度参数的等级^[21]。 由于水文观测点附近沉积物均为细颗粒的黏性 沉积物,因此其临界起动切应力可采用适合黏性沉积 物的公式(1)得到^[23]。公式(1)中 τ_{er} 为底部临界切 应力; β 是与颗粒粒径有关的系数,取 β =0.3, $s=\rho_s/\rho_w$ -1; ρ_w 为海水密度; ρ_s 为沉积物颗粒密度;W为沉积物 含水量(计算采用百分数)。两个水文观测站位的水 深都较浅,可以认为整个水层在边界层内,因此可采 用公式(2)计算底部切应力^[24](Dyer,1986)。式中, U_a 为垂线平均流速; u_s 为摩阻流速; κ =0.408 为 von Karman 常数;h 为水深, z_0 为底部粗糙长度,根据沉积 物的类型,取 z_0 =2×10⁻⁴ m。

$$\tau_{cr} = 0.05 + \beta \left\{ \frac{1}{\left[\left(\pi/6 \right) \left(1 + sW \right) \right] 1/3 - 1} \right\}^{2}$$
(1)

$$U_{a} = \frac{u_{*}}{\kappa} \left[\ln\left(\frac{h}{z_{0}}\right) - 1 \right]; \quad \tau = \rho u_{*}^{2} \quad (2)$$

采用Q型聚类分析方法对所有样品进行聚类分析「法对所有样品进行聚类分析「^[4,25],划分现代沉积环境。通过标准偏差—粒级曲 线提取了环境敏感粒级^[26]。利用目前比较成熟的 Gao-Collins 二维粒径趋势分析模型研究沉积物的输 运方向和强度^[27-28]。沉积物二维粒径趋势分析模型 中,根据沉积物的平均粒径、分选系数及偏态的平面 分布特征,用相邻的两个采样点进行比较可以定义8 种粒径趋势,其中有两种类型的粒径趋势在沉积物的 净搬运方向上有较高的出现概率,将每个站位的沉积 物粒度参数与周围其他站位进行比较,确定各采样点 的粒径趋势矢量,对每个采样点得到的矢量进行合

① 国家海洋局第三海洋研究所.泉厦漳城市联盟高速公路工程水文观测与分析研究报告[R].2013.

成,可以得到研究区沉积物粒径二维搬运格局[19]。

3 研究结果

3.1 沉积物类型分布特征

根据 62 个站位的表层沉积物粒度分析结果,调 查海域表层沉积物可分为 6 种类型,分别为黏土质粉 砂(YT)、粉砂(T)、含砾泥((g)M)、砾质泥(gM)、砾 质泥质砂(gmS)和砾质砂(gS)。沉积物类型中以黏 土质粉砂(YT)和粉砂(T)为主,含砾石沉积物零星 出现在调查区内。总体上,沉积物类型呈现自海湾两 侧潮滩向潮汐通道变粗的分布趋势(图2)。

黏土质粉砂是研究区内分布最广的沉积物类型, 覆盖了大部分调查区域,尤其是海湾两侧的潮滩地貌 (图 2),该沉积物类型组分以粉砂为主,含量介于 62.3%~74.9%之间,平均71.6%;黏土含量次之,含量 介于20.0%~37.7%之间,平均25.6%。粉砂分布范 围仅次于黏土质粉砂,主要出现在研究区的西北角和 潮汐通道深槽(图 2),该沉积物类型组分也以粉砂为



Fig.3 Surface sediments grain size parameters distributions of the study area



Fig.2 Types of surface sediments distribution in the study area

主,含量介于 75.0%~77.1%之间,平均 76.0%;黏土 含量次之,含量介于 20.0%~24.4%之间,平均21.9%。 其他沉积物类型均含砾石组分,主要在潮汐通道深槽 内的站位中出现(图 2)。

3.2 沉积物粒度参数分布特征

研究区表层沉积物平均粒径大体上从湾内潮滩 上向湾内深槽内及湾外逐渐增大,总体变化幅度不 大,平均粒径介于 0.10~7.61 φ 之间,平均 6.58 φ,整 体为细粒沉积物。在湾内潮滩上平均粒径 φ 值一般 大于 6.5 φ;海湾东南侧潮滩平均粒径略小于西北侧 潮滩;在湾口南北两侧及调查区中部深槽内最低,φ 值一般小于 6.0 ¢。平均粒径的空间分布与粉砂组分 含量的空间分布对应较好,表明该海域沉积物粒度分 布主要受控于沉积物中粉砂含量的分布。沉积物的 分选系数介于 1.03~4.20 之间,平均为 1.88,属于分 选差到极差。在湾内潮滩上分选系数一般小于1.8, 沉积物分选相对最好:随着水深的增大,在研究区深 槽内沉积物分选系数逐渐增大,尤其在研究区的南部 5 m 深槽内。研究区内大部分站位沉积物为正偏,偏 态介于-3.94~2.72之间,平均为0.95。深槽区和海 湾东部潮滩的个别站位沉积物偏态值较小,呈现近对 称和负偏。沉积物峰态值分布趋势与分选系数十分 相似,峰态均为宽峰(低峰),变化范围介于1.34~ 5.03之间,平均为2.42,在湾内潮滩上峰态变化不大, 在海湾南部深槽和东部潮滩可见相对较高的峰态。

3.3 现代沉积环境划分

由于各项粒度参数之间存在不同程度的内在联 系,采用所有的粒度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,故选择研究区内最具 代表性的粒度参数进行分析。本文选择砂粒级含量、 平均粒径和峰态3个特征参数进行Q型聚类分析。 聚类方法采用组间距离法,组间距离测定采用欧式距 离平方,分析结果见图4。根据上述聚类分析结果将 研究区分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ四类沉积环境分区(图5)。

Ⅰ类沉积环境占据了研究区的大部分范围,Ⅱ类 沉积环境主要出现在研究区北部潮汐通道内外,Ⅲ类 沉积环境呈三部分出现在海湾西部潮滩上,Ⅳ类沉积 环境分区主要出现在研究区南部潮汐通道内。Ⅰ、Ⅱ 两类沉积环境都以黏土质粉砂沉积物类型为主,有少 量粉砂沉积物类型;Ⅲ类全部为黏土质粉砂沉积物类 型;Ⅳ类沉积物类型相对复杂,沉积物均含有砾石组 分。前三类沉积环境沉积物颗粒大小逐渐减小,但颗 粒均较细,分选差,偏态为正偏,峰态为宽峰态(低峰







Fig.5 Modern sedimentary environment zone in the study area

态);Ⅳ类沉积环境沉积物颗粒较粗,分选差,偏态以 负偏为主,峰态为宽峰态(低峰态)。Ⅰ类沉积环境 中,除个别站位外,粒度频率曲线均呈现明显的单峰 型;Ⅱ类沉积环境中,北部潮汐通道内部样品粒度频 率曲线均呈现单峰型,而潮汐通道外侧部样品则可见 微弱的双峰,细颗粒区间峰值明显显著;Ⅲ类和Ⅳ类 沉积环境中,粒度频率曲线多呈现较明显的双峰型, Ⅳ类沉积环境中可见多峰型粒度频率曲线(图6)。

4 讨论

4.1 表层沉积物沉积动力学分析

4.1.1 沉积物临界起动切应力与潮流切应力 根据研究区内 2013 年 8 月开展的实测水文资料 (SW-1 与 SW-2 站位,图 7),利用研究方法中的切应 力计算公式可计算得到 SW-1 和 SW-2 站位沉积物临 界起动切应力(分别为 0.113 N/m²和 0.103 N/m²)和 底部切应力(图 8)。计算结果显示,在涨急和落急阶 段,底部切应力都明显增加,而在涨憩和落憩前后,底 部切应力明显减小,大潮期间底部切应力强度和变化 幅度均比小潮期间的大。

4.1.2 表层沉积物沉积动力过程

沉积物的物质来源和沉积过程中的海洋动力环境(特别是水动力环境)因子是影响表层沉积物粒度 分布差异的主要控制因素。

海湾环境中,底质沉积物在潮流作用下不断进行 着再悬浮、输运和沉降过程,长期、连续的再悬浮和沉









图 7 研究区垂向平均流速潮周期变化

Fig.7 Tide-current shear stress variation and critical shear stress of surface sediment in the study area



图 8 研究区潮流切应力变化与表层沉积物临界起动切应力 Fig.8 Tide-current shear stress variation and critical shear stress of surface sediment in the study area

降作用造成底床的侵蚀和堆积,而且再悬浮的泥沙可 能被海流搬运并沉积到其他区域,影响沉积物类型的 分布,海底地形、地貌的发展和演化^[29]。对比底部切 应力和临界起动切应力可以判断海底沉积物是否发 生侵蚀或水体悬浮泥沙是否发生沉降,当底部切应力 大于沉积物临界侵蚀切应力时,沉积物会发生侵蚀, 而当底部切应力小于沉积物临界沉降切应力时,水体 中的悬沙会发生沉降。研究区水文站位切应力对比 结果显示,观测站位大、小潮期间均有部分时段底部 切应力大于临界起动切应力,特别在涨急和落急时 刻,切应力增大显著,底质沉积物可产生明显的搬运 甚至再悬浮。底质沉积物的搬运和再悬浮能够改变 沉积物的粒度参数,因此潮流切应力应是控制研究区 底质沉积物粒度分布的重要因素之一。

4.2 沉积物输运趋势分析

根据安海湾南部研究区内的沉积物粒度参数,应 用 Gao-Collins 二维粒径趋势分析模型进行了沉积物输 运趋势分析。为了消除因采样边界带来的噪声,在成 图时消除了边界噪声,图中矢量箭头表示沉积物净输 运方向,矢量长度仅表示粒径趋势的显著性,不代表搬 运速率的大小^[27,30]。计算结果表明(图9),研究区内 沉积物主要向东南、东北和西南三个方向搬运,呈现出 明显的顺时针方向汇聚的输运趋势。研究区北部沉积 物自西北向东南搬运的趋势最为显著,尤其在潮汐通 道内;在研究区南部,输运显著性相对较弱,沉积物主 要向东北输运;而在海湾东南部潮滩上,沉积物输运趋 势稍有散乱,表现出微弱的北向和西南向输运趋势。



Fig.9 Transport trend of surface sediment in the study area

研究区表层沉积物的输运趋势应该与该区的物 源输入与潮流影响有关。安海湾潮汐通道内(SW-1 站)涨潮流主要为东北向,落潮流主要为西南向,湾 口(SW-2站)涨潮流主要为西北偏北向,落潮流主要 为东南偏南向(图7);两者余流在大潮期间主要为东 北向,小潮余流很小,以东南向为主^①。根据实测的 水文泥沙和历史的输沙特征分析^{[20]①},泥沙自安海湾 湾外随潮流进入安海湾后主要朝着东北方向,不断地 向海湾东侧岸滩运移,而海湾周边陆源来沙则随着潮 流由湾顶部往湾口方向下泄,这与表层沉积物的输运 趋势较为接近,应是研究区内表层沉积物出现明显的

①国家海洋局第三海洋研究所.泉厦漳城市联盟高速公路工程水文观测与分析研究报告[R].2013.

顺时针方向汇聚运移趋势的原因之一。而研究区东 侧白沙头以北岸段浅滩不断淤积,高程高于海湾西侧 石井以北岸段浅滩^①,应与表层沉积物的输运趋势以 及悬浮泥沙的输运有关。此外,由于植被对滩面水流 的阻碍作用降低了滩面水流流速和紊流程度,使水流 携带的泥沙更易发生堆积^[30-31],研究区东侧白沙头 以北岸段植被覆盖面积相对较大,起到了一定的消能 作用,也促进了浅滩的淤积;白沙头沙嘴的遮断效应 也是导致泥沙在其北侧淤积的原因之一,同时,湾口 的波浪作用掀起的泥沙在潮流的作用下向西输运,使 得白沙头沙嘴往西延伸,进一步加强了白沙头沙嘴的 遮断效应。

4.3 现代沉积环境分析

沉积物的粒度特征与其形成时的沉积环境息息 相关,沉积物的粒度参数可以反映沉积物来源和沉积 环境。一般认为,沉积物平均粒径和分选系数与沉积 物来源和动力条件关系密切,偏态和峰态则反映的是 沉积环境对粒度的改造结果^[32]。因此,可以利用沉 积物粒度参数反演划分沉积环境,分析不同沉积环境 的沉积作用机制。

4.3.1 不同沉积环境粒度参数相关性

沉积物粒度参数随地貌单元的变化而发生变化

(图 3,10),地貌单元和沉积环境的差异在沉积物粒 度参数组合特征上也有所体现。将表层沉积物粒度 参数(平均粒径、分选系数、偏态、峰态)分为所有沉 积区、Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类沉积区 5 个数据组分别 进行的线性相关性统计分析(表 1),研究结果表明, 各个沉积区之间的统计结果差异明显,只有分选系数 与偏态在所有沉积区中表现出显著地正相关。对比 各个沉积区之间统计结果,发现同样位于潮滩地貌的 Ⅰ类沉积区和Ⅲ类沉积区的统计结果较为相似,平均 粒径与分选系数、偏态与峰态之间表现出较为显著地 负相关关系,分选系数与偏态和峰态、峰态与偏态之间 均表现为正相关;而同样位于潮汐通道地貌的Ⅱ类沉积 区和Ⅳ类沉积区的统计结果较为相似,Ⅳ类沉积区内 的平均粒径与其他参数的相关性也要强于Ⅱ类沉积区, 两者与潮滩地貌沉积区的统计结果差别明显。

上述差异应与两种地貌内的动力条件差异相关。 潮汐通道内,水动力作用强劲,沉积物在涨落潮流反 复作用下,较细粒的沉积物被再悬浮带走,使得粗颗 粒的含量增大,而在动力最强的潮汐通道深槽内甚至 出现砾石颗粒;在潮滩地貌内,水动力作用向岸逐渐 减弱,悬浮物质因潮流减缓而发生分选沉降,形成向 岸颗粒逐渐变细的横向分异结果。



Fig.10 Surface sediment grain size variation of different geomorphic units in the study area

表1 研究区表层沉积物粒度参数之间相关性

 Table 1
 Correlation between grain size parameters

 of surface sediments in the study area

样品范围	粒度参数	平均粒径	分选系数	偏态	峰态
所有沉积区 N=62	平均粒径	1			
	分选系数	-0.44	1		
	偏态	0.32	-0.66	1	
	峰态	-0.40	0.99	-0.71	1
I 类沉积区 N=36	平均粒径	1			
	分选系数	-0.40	1		
	偏态	-0.71	0.61	1	
	峰态	-0.52	0.98	0.69	1
Ⅱ类沉积区 N=13	平均粒径	1			
	分选系数	0.39	1		
	偏态	-0.72	0.27	1	
	峰态	0.22	0.97	0.43	1
Ⅲ类沉积区 N=6	平均粒径	1			
	分选系数	-0.61	1		
	偏态	-0.55	0.90	1	
	峰态	-0.70	0.99	0.89	1
Ⅳ类沉积区 N=7	平均粒径	1			
	分选系数	0.76	1		
	偏态	-0.57	-0.23	1	
	峰态	0.89	0.97	-0.34	1

注:表中N代表各个沉积区参与统计数据个数。

4.3.2 敏感粒级及其沉积环境意义

由样品各粒级含量的标准偏差--粒级曲线,不仅 可以清楚看出沉积物样品中粒度组成间的变化[25]. 还可以提取反映环境变化的沉积物粒度特征用于古 环境演化反演[33-35],其研究理论基于沉积物沉积历 史上沉积环境变化引起的颗粒物粒度差异,这种差异 在受沉积动力和物质来源显著影响的现代沉积环境 中理应存在。由于研究区内只有个别站位有 φ 值大 于 2ϕ 的粒级组分,所以本文主要讨论 ϕ 值大于 2ϕ 的粒级的标准偏差变化。图 11 显示,整个研究区的 标准偏差--粒级分布呈现"双峰"分布特征,两个主 要高峰值粒度组分分别接近砂和黏土粒级,低峰值粒 度组分主要成分与第一个高峰值较为接近,为黏土质 粉砂,是研究区样品粒度的主要组成部分。总体上, Ⅰ类、Ⅱ类和Ⅲ类沉积区也呈现"双峰"分布,高峰值 区间有所不同,标准偏差差别明显,而低峰值区间及 其标准偏差相差不大。Ⅰ类与Ⅱ类沉积区的标准偏 差--粒级曲线变化趋势较为相似,但变化范围具有显 著差异,Ⅰ类沉积区的标准偏差要显著大于Ⅱ类沉积 区,而Ⅱ类沉积区的两个高峰值差异明显。Ⅲ类沉积 区在粗粒级组分的标准偏差与其他沉积区显著不同, 呈现明显的高峰值。Ⅳ类沉积区的标准偏差变化最 为显著,在7 φ 粒级左右呈现显著地"单峰",只在极 细粒级出现微弱的峰值。不同沉积区的粒级—标准 偏差曲线差别明显,也是研究区沉积环境区域性差异 的佐证。



Fig.11 The standard deviation of surface sediment grain size in the study area

标准偏差大的组分,其在各样品中的含量变化就 大,可以作为指示海洋环境变化的敏感粒级。安海湾 顶部有较大的九溪汇入,港湾两侧还有4条流程仅8 ~14 km 长的小溪流和小冲沟,在洪水季节,随着九 溪开闸排洪,九溪与安海湾周边溪流能够携带陆源泥 沙进入安海湾;此外,在季风浪和潮流的共同作用下, 湾外海水携带一些细粒物质随涨潮流入港,也为安海 湾增加了物质来源[20],2013年8月现场实测的水文 泥沙资料也显示外海泥沙向海湾内输运。研究区中 两种主要敏感粒级的出现,应是受上述两种物质来源 的影响。整体上,研究区内较细的敏感粒级标准偏差 较大,敏感粒级范围也较宽,较粗的敏感粒级在研究 区北部标准偏差相对较细的敏感粒级变化显著,而在 海湾南部则与之相反。可以认为,不同沉积环境区敏 感粒级的差别显示出不同物源的影响程度,较细的敏 感粒级主要受潮流携带的泥沙的影响,而较粗的敏感 粒级主要受到河流入海泥沙的影响,由于安海湾顶部 入海河流较小且口门建有堤坝,致使外海输沙可能成 为安海湾的主要物质来源,继而控制海湾内的表层沉 积物分布格局。

①国家海洋局第三海洋研究所. 泉厦漳城市联盟高速公路工程水文观测与分析研究报告[R].2013.

5 结论

(1)研究区表层沉积物包括黏土质粉砂(YT)、 粉砂(T)、含砾泥((g)M)、砾质泥(gM)、砾质泥质砂 (gmS)和砾质砂(gS)共6种沉积物类型,以黏土质粉 砂(YT)和粉砂(T)为主,沉积物大体呈现自海湾两 侧潮滩向潮汐通道变粗的分布趋势。

(2)表层沉积物粒度的分布特征与水动力条件 密切相关,水动力的机械分异作用使得湾口附近及湾 内深槽内,细颗粒的沉积物被再悬浮带走,粗颗粒的 含量增大;在湾内潮滩上,悬浮物质因水动力作用向 岸逐渐减弱而发生分选沉降,形成向岸颗粒逐渐变细 的横向分异。

(3)安海湾湾外泥沙随潮流进入海湾后主要沿 东北向不断地向海湾东侧岸滩运移,海湾周边陆源来 沙随潮流由湾顶部往湾口方向下泄,两者应是研究区 内表层沉积物出现明显的顺时针方向汇聚运移趋势 的原因之一。表层沉积物的输运趋势、悬浮泥沙的输 运、潮滩植被与湾口沙嘴的遮蔽效应共同影响了研究 区内浅滩地形的形成和变化。

(4)根据粒度分析结果,并结合系统聚类分析将研究区分为四类沉积环境区,研究区以潮滩和潮汐通 道环境为主,不同沉积区内粒度参数、粒级频率分布 和敏感粒级均有差异。不同沉积区内的动力条件差 异和不同物源的影响程度是研究区现代沉积环境分 布格局的主要影响因素。

参考文献(References)

- 1 Turner R K, Adger W N, Lorenzoni I. Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ) [R]. Netherlands: LOICZ International Project Office, Netherlands Institute for Sea Research, 1993: 1-150.
- 2 Kremer H H, Martin D A, Tissier L. Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ) [R]. Stockholm: IGBP Secretariat, 2004: 66.
- 3 黄财宾,陈建宁,王爱军. 福建洛阳江河口湿地沉积物粒度特征及 其沉积环境意义[J]. 台湾海峡, 2009, 28(3): 410-416. [Huang Caibin, Chen Jianning, Wang Aijun. Grain size characteristics and the significance of sedimentary environments of the sediments on Luoyangjiang estuary wetlands, Fujian province[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2009, 28(3): 410-416.]
- 4 方建勇,陈坚,王爱军,等. 九龙江河口区现代沉积环境及其物质输运趋势[J]. 海洋地质与第四纪地质,2010,30(2):35-41. [Fang Jianyong, Chen Jian, Wang Aijun, et al. The modern sedimentary environment and transport trends in Jiulong River estuary[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2010, 30(2): 35-41.]
- 5 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 Huanting, Zhu Jianrong. The land and ocean interactions in the coastal zone of China[J]. Marine Science Bul-

letin, 1999, 18(6): 11-17.]

- 6 王爱军. 淤泥质海岸潮间带沉积物的区域分布特征及其影响因素 [C]// 第十届中国河口海岸学术研讨会论文集,北京:海洋出版 社,2007:44-50. [Wang Aijun. Sediment patterns of inter-tidal flat in the world and the affecting factors[C]// The conference proceeding articles of 10th China estuary and coast academic symposium, Beijing: China Ocean Press, 2007: 44-50.]
- 7 Yang S L, Li H, Ysebaert T, et al. Spatial and temporal variations in sediment grain size in tidal wetlands, Yangtze delta: on the role of physical and biotic controls[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2008, 77(4): 657-671.
- 8 周连成,李军,高建华,等. 长江口与舟山海域柱状沉积物粒度特征 对比及其物源指示意义[J]. 海洋地质与第四纪地质,2009,29 (5):21-27. [Zhou Liancheng, Li Jun, Gao Jianhua, et al. Comparison of core sediment grain-size characteristics between Yangtze River estuary and Zhoushan islands and its significances to sediment source analysis[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2009, 29(5): 21-27.]
- 9 Halls J R. Significance of statistical parameters for distinguishing sedimentary environments in New South Wales, Australia [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1967, 37: 1059-1069.
- 10 Friedman G M. Address of the 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(1): 3-22.
- 11 刘苍字,贾海林,陈祥锋. 闽江河口沉积结构与沉积作用[J]. 海 洋与湖沼,2001,32(2):177-184. [Liu Cangzi, Jia Hailin, Chen Xiangfeng. Sedimentary texture and sedimentation in the Minjiang River estuary[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2001, 32(2): 177-184.]
- 12 王伟,李安春,徐方建,等. 北黄海表层沉积物粒度分布特征及其沉积环境分析[J]. 海洋与湖沼,2009,40(5):525-531. [Wang Wei, Li Anchun, Xu Fangjian, et al. Distribution of surface sediments and sedimentary environment in the North Yellow Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2009, 40(5): 525-531.]
- 13 Middleton G V. Hydraulic interpretation of sand size distributions [J]. Journal of Geology, 1976, 84(4): 405-426.
- 14 杨世伦. 长江口沉积物粒度参数的统计规律及其沉积动力学解释 [J]. 泥沙研究,1994(3):23-31. [Yang Shilun. Statistic features for grain-size parameters of the Yangtze River estuary and their hydrodynamic explanation[J]. Journal of Sediment Research, 1994(3): 23-31.]
- 15 彭晓彤,周怀阳,叶瑛,等.珠江河口沉积物粒度特征及其对底层 水动力环境的指示[J].沉积学报,2004,22(3):487-493. [Peng Xiaotong, Zhou Huaiyang, Ye Ying, et al. Characteristics of sediment grain size and their implications for bottom hydrodynamic environment in the Pearl River estuary[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22 (3): 487-493.]
- 16 Visher G S. Grain size distribution and depositional processes [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1969, 39(3): 1074-1106.
- 17 王爱军,陈坚. 厦门吴冠海岸潮间带沉积物粒度特征及其沉积动

力学涵义[J]. 热带海洋学报,2006,25(6);28-32. [Wang Aijun, Chen Jian. Grain size characteristics and sedimentary dynamic significance of surface sediments in intertidal flat of Wuguan, Xiamen[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2006, 25(6); 28-32.]

- 18 McLaren P, Bowles D. The effects of sediment transport on grain size distribution [J]. Journal of Sedimentary Research, 1985, 55: 457-470.
- 19 Gao S, Collins M. Net sediment transport patterns inferred from grainsize trends, based upon definition of "transport vectors" [J]. Sedimentary Geology, 1992, 81(1/2): 47-60.
- 20 中国海湾志编纂委员会.中国海湾志(第八分册)[M].北京:海洋出版社,1998. [State Oceanic Administration. Chinese Harbours and Embayments (Volume 8) [M]. Beijing: China Ocean Press, 1998.]
- 21 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763. 8-2007 海洋调查规范-第 8 部分:海洋地质地球物理调查[S]. 2007. [Standardization administration of the people's republic of China. GB/T 12763. 8-2007 The specification for oceanographic survey—Part 8: Marine geology and geophysics survey[S]. 2007.]
- McManus J. Grain size determination and interpretation [M]//Tucker
 M. Techniques in Sedimentology. Oxford: Blackwell, 1988: 63-85.
- 23 Taki K. Critical shear stress for cohesive sediment transport [M]// McAnally W H, Mehta A J. Coastal and Estuarine Fine Sediment Processes. Elsevier Science, 2001: 53-61.
- 24 Dyer K R. Coastal and Estuarine Sediment Dynamics [M]. New York: Wiley, 1986: 202-223.
- 25 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 a-nalysis to classification of modern sedimentary environment—A case study in Qiqu archipelago area [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(3): 487-494.]
- 26 Boulay S, Collin C, Trentesaux A, et al. Mineralogy and sedimentology of Pleistocene sediments in the South China Sea (ODP Site 1144) [J]. Proceedings of the Ocean Drilling Program Scientific Results, 2003, 184: 1-21.
- 27 汪亚平,高抒,贾建军. 胶州湾及邻近海域沉积物分布特征和运移 趋势[J]. 地理学报,2000,55(4):449-458. [Wang Yaping, Gao Shu, Jia Jianjun. Sediment distribution and transport patterns in Jiaozhou Bay and adjoining areas [J]. Acta Geographica Sinica,

2000, 55(4): 449-458.]

- 28 石学法,陈春峰,刘焱光,等. 南黄海中部沉积物粒径趋势分析及 搬运作用[J]. 科学通报,2002,47(6):452-456. [Shi Xuefa, Chen Chunfeng, Liu Yanguang, et al. Trend analysis of sediment grain size and sedimentary process in the central South Yellow Sea[J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(6): 452-456.]
- 29 Schoellhamer D H. Sediment resuspension mechanisms in old Tampa Bay, Florida [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1995, 40 (6): 603-620.
- 30 王爱军,汪亚平,杨旸. 江苏王港潮间带表层沉积物特征及输运趋势[J]. 沉积学报,2004,22(1):124-129. [Wang Aijun, Wang Yaping, Yang Yang. Surface sediment characteristics and transport trends on the Wanggang intertidal flat, Jiangsu province [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(1): 124-129.]
- 31 王爱军,陈坚,李东义. 互花米草对福建泉州湾海岸湿地沉积环境 影响[J]. 海洋工程,2008,26(4):60-69. [Wang Aijun, Chen Jian, Li Dongyi. Impact of spartina alterniflora on sedimentary environment of coastal wetlands of the Quanzhou Bay[J]. The Ocean Engineering, 2008, 26(4): 60-69.]
- 32 李粹中,张富元,王秀昌.东海沉积物成因环境的初步分析[J].海洋学报,1983,5(6):753-765. [Li Cuizhong, Zhang Fuyuan, Wang Xiuchang. Primary study on the genetic environment of sediment on the East sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1983, 5(6): 753-765.]
- 33 Xiang R, Yang Z S, Yoshiki S, et al. East Asia Winter Monsoon changes inferred from environmentally sensitive grain-size component records during the last 2300 years in mud area southwest off Cheju Island, ECS[J]. Science in China Series D, 2006, 49(6): 604-614.
- 34 肖尚斌,李安春,蒋富清,等. 近 2ka 闽浙沿岸泥质沉积物物源分析[J]. 沉积学报,2005,23(2):268-274. [Xiao Shangbin, Li Anchun, Jiang Fuqing, et al. Provenance analysis of mud along the Min-Zhe coast since 2 ka BP[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23 (2): 268-274.]
- 35 叶芳,刘志飞,拓守廷,等. 南海北部中更新世 0.78~1.0Ma 期间的 陆源碎屑粒度记录[J]. 海洋地质与第四纪地质,2007,27(2):77-83. [Ye Fang, Liu Zhifei, Tuo Shouting, et al. Grain size record of terrigenous clast during Mid-Pleistocene transition (0.78~1.0 Ma) in the northern South China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2007, 27(2): 77-83.]

Analysis of Surface Sediment Grain Size Characteristics and Modern Sedimentary Process in Fujian Anhai Gulf

LI DongYi¹ XU YongHang¹ WANG AiJun¹ ZHENG BinXin¹ LI GuoGang²

(1. Open Lab of Ocean and Coast Environment Geology, Third Institute of Oceanography, S.O.A, Xiamen, Fujian 361005;
2. North China Sea Branch of the State Oceanic Administration, Beihai Offshore Engineering Survey Institute, Qingdao, Shandong 266033)

Abstract: Surface sediments in Fujian Anhai gulf were collected and analyzed by grain size laser particle sizer. The grain size distribution characteristics, sedimentary environment partition, trend of surface sediment transport and its influencing factors were discussed by application system clustering analysis, grain size trend model and the formula of shear stress. The results shows that surface sediment include six types of sediment, give priority to the two main types which are clayev silt and silty sand. The grain size trends to coarse form tidal flat in both sides of the bay to the tidal channel. The grain size distribution characteristics are closely related to the hydrodynamic and material source. The fine particles material were removed by resuspension near the bay mouth and in tidal channel, lead to the content of coarse particles increased. On the tidal flat in the bay, the selective deposition of suspended material happen due to the hydrodynamic effect weakened, formed the horizontal differentiation which particles material become more finer toward the shore. The transportation to the east side tidal flats of the suspended sediment carried by the tide current form the outside bay, and the discharge of terrigenous sediment derived from surrounding the gulf towards the top of the bay to the bay mouth, can influence the migration trend of sediment shows obviously clockwise convergence. The formation and change of the shoals are affected by the migration trend of sediment and transport of suspended sediment together with vegetation and the shading effect of the sand spit in bay mouth. The study area can be divided into four types of sedimentary environment, give priority to tidal flat and tidal channel environment. The grain size parameters, frequency and sensitive fraction have difference in different sedimentary environment. The modern pattern sediment environment is mainly impacted by hydrodynamic difference and the influence of different material source.

Key words: grain size; sedimentary environment; sediment dynamics; grain size trends analysis