

郝连成, 远继东, 郑立龙, 等. 湛江湾海域表层沉积物粒度特征及沉积环境[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(8): 1-10.

HAO Liancheng, YUAN Jidong, ZHENG Lilong, et al. Grain-size characteristics of surface sediment and sedimentary environment in Zhanjiang Bay[J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(8): 1-10.

# 湛江湾海域表层沉积物粒度特征及沉积环境

郝连成<sup>1</sup>, 远继东<sup>1,2</sup>, 郑立龙<sup>1</sup>, 张健康<sup>1</sup>, 张德程<sup>1</sup>, 代友旭<sup>1\*</sup>

(1 中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心, 烟台 264004; 2 中国地质大学(北京)海洋学院, 北京 100083)

**摘要:**根据湛江湾海域 2020 年 10 月采集的 61 个表层沉积物样品粒度分析结果, 对沉积物粒度参数进行了总结, 划分了沉积物类型, 结合 Pejrup 三角图解对湛江湾海域沉积动力环境进行了分区, 运用 Gao-Collins 粒径趋势分析模型, 探讨了沉积物运移趋势。结果表明, 湛江湾海域表层沉积物类型共有 5 种, 其中砂、粉砂质砂、砂质粉砂分布最广, 粒度组成以细砂为主, 平均粒径均值为 3.93 $\Phi$ , 分选较差, 粒度分布曲线以正偏、正态分布为主。沉积动力判别图解揭示湛江湾海域沉积水动力较强, 整体表现为湾内比湾外弱、湾外向外海方向逐渐减弱的特征。粒径趋势分析反映出湛江湾内整体向南部潮流深槽方向运移, 湾外围绕沉积中心整体呈逆时针方向运移。湛江湾海域表层沉积物的运移和分布主要受泥沙来源及潮流、波浪、沿岸流等沉积动力环境的共同作用, 近年来, 人类活动的影响愈加明显。

**关键词:**表层沉积物; 粒度参数; 运移趋势; 沉积动力环境; 湛江湾

中图分类号: P736.21 文献标识码: A DOI: 10.16028/j.1009-2722.2021.152

## 0 引言

粒度特征是海底沉积物颗粒最基本的物理属性, 包含了丰富的海洋沉积动力学方面的重要信息, 在划分海底底质类型、区分沉积环境、提取物源信息、反演水动力条件和分析沉积物运移趋势等诸多方面有着非常重要的作用<sup>[1]</sup>。近年来, 许多学者已在河口及海岸地区开展了大量此方面的研究工作, 并取得一定成果<sup>[2-5]</sup>。但在湛江湾海域, 这方面的研究及成果相对较少, 张际标等<sup>[6]</sup>对东海岛潮间带表层沉积物粒度的分布及环境要素的相关性进行了研究, 结果表明潮间带表层沉积物类型及其粒度分布特征是该岛沿岸潮流动力环境差异的直接体现。陈碧珊等<sup>[7]</sup>通过对雷州半岛红树林湿地表层沉积

物粒度分布特征的研究, 探讨了表层沉积物的水动力条件和沉积环境及其影响因素。李拴虎<sup>[8]</sup>、贺松林等<sup>[9]</sup>、张志飞等<sup>[10]</sup>分别对湛江湾围填海、航道建设等工程对区域水动力环境的影响及冲淤变化进行了研究。林微等<sup>[11]</sup>对湛江湾口外落潮三角洲动力场进行了模拟, 韩志远等<sup>[12]</sup>对湾口外落潮三角洲近 50 年来的冲淤变化进行了研究, 探讨了其演变机制。综上所述, 前人的研究主要集中在潮间带、湾内或者湾外落潮三角洲等局部地区, 对湾内及湾外沉积物缺乏系统的综合研究。因此, 本研究试图通过对湛江湾内及湾外表层沉积物粒度特征进行分析, 了解表层沉积物的分布规律。进一步探讨研究区沉积水动力条件、沉积物运移趋势及其影响因素等, 为该区港口建设、深水航道改扩建、海砂资源开发等提供科学的参考依据。

## 1 研究区概况

湛江湾位于粤西雷州半岛东北侧, 为潮汐汉道型溺谷型海湾, 是全新世中期在遂溪河谷的基础上经海侵发育而来的<sup>[8]</sup>。气候属热带北缘季风气候, 常年气温较高, 雨量充沛, 易受台风影响, 雷暴天气

收稿日期: 2021-05-30

资助项目: 中国地质调查局项目“雷州半岛东部海岸带综合地质调查”(DD20208011)

作者简介: 郝连成(1985—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事海岸带综合地质调查方面的研究工作。E-mail: 251035203@qq.com

\* 通讯作者: 代友旭(1988—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事海岸带综合地质调查方面的研究工作。E-mail: daiyouxu1988@126.com

多。潮汐类型为不规则半日潮,多年平均潮差约为1.7 m,最大潮差约为3.9 m<sup>[12]</sup>。因口门束窄影响,涨潮历时大于落潮历时,多年平均涨潮历时6:30—6:43,落潮历时5:42—5:55,落潮流速大于涨潮流速,最大涨潮流35~66 cm/s,最大落潮流39~107 cm/s<sup>[13]</sup>。湛江湾内受地形掩护,风浪不大,湾外为开阔海域,受波浪影响较大,全年以风浪为主,波向主要集中在NNE—SSE,出现频率为89.5%,强浪出现方向为E-S向<sup>[13]</sup>。湛江湾口及湾内,受东海岛、南三岛、东头山岛、特呈岛以及陆域岸线的影响,形成了稳定的涨、落潮流路和深槽,潮流运动基本沿着深槽方向呈往复流动。

湛江湾口外主要为落潮三角洲地貌,由东北浅滩、拦门沙浅滩、西南边滩和潮汐通道口门深槽组成,外海为内陆架缓坡平原,硃洲岛北部为一深槽;湛江湾内主要为潮间浅滩、水下岸坡、主干潮流深槽及支叉深槽。湛江湾岸线类型多样,东海岛及南三岛东部为砂质岸线,东海岛北部及湛江港一带以人工岸线为主,南三岛南部、特呈岛及东头山岛以砂质岸线和红树林岸线为主,湛江湾西南局部为泥

质岸线分布。

研究区内主要河流有鉴江和遂溪河。鉴江流域面积为6 151 km<sup>2</sup>,年入海沙量197×10<sup>4</sup> t,在粤西沿岸流作用下,部分泥沙向湛江湾口方向输移,年输移量约(20~49)×10<sup>4</sup> t<sup>[9]</sup>,是湛江湾外东北浅滩、拦门沙等发育的重要物质基础;遂溪河流域面积926.6 km<sup>2</sup>,年平均径流量33.0 m<sup>3</sup>/s,全年总径流量为10.4亿 m<sup>3</sup>,年输沙量为30万 m<sup>3</sup>/a<sup>[13]</sup>,为湾内北部重要的泥沙来源。

## 2 资料与方法

### 2.1 资料来源

2020年10月,中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心在研究区内进行表层沉积物取样。采样站位基本呈等间距分布,网格密度为4 km×4 km,共布置61个站位(图1),多数位于<30 m海域。采用抓斗取样器,取样后将样品迅速装入聚乙烯塑料袋中,排气密封,做好标记妥善保存。

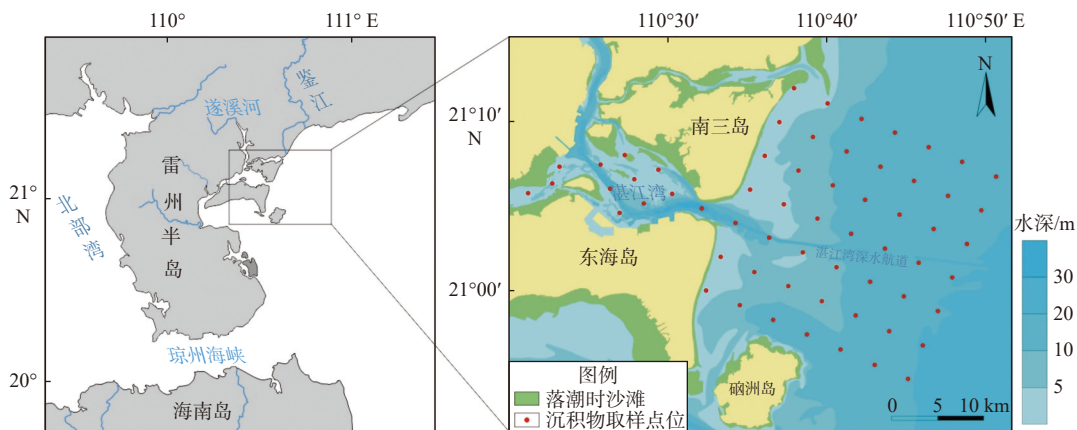


图1 表层沉积物取样站位

Fig.1 Location of surface sediment sampling

### 2.2 研究方法

沉积物粒度分析由青岛斯八达分析测试有限公司完成,具体处理方法:首先将样品混合均匀,使其具有代表性,根据样品类型(颗粒大小)取适量样品,先用30%过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)去除有机质,再用3 mol/L的盐酸去除钙胶结物(CaCO<sub>3</sub>),然后加入去离子水进行反复离心、洗盐。处理好的样品经超声波振荡分散后,采用激光粒度分析仪(Mastersizer 2000)进行测定。沉积物粒度标准划分采用 Udden-

Wentworth 等比制  $\Phi$  粒级标准,粒度参数(平均粒径、分选系数、偏度、峰度等)采用 Folk-Ward 图解法计算,利用 MapGIS6.7 内置的 Kriging 插值法实现粒度组成和参数等值线分布图的绘制。沉积物的分类与命名采用 Folk 分类法<sup>[14]</sup>。

本文采用 Pejrup 三角图解<sup>[15]</sup>进行沉积动力环境分区研究,该方法以砂、粉砂和黏土为三端元,分别根据砂/(粉砂+黏土)、粉砂/黏土的比值将三角图分为16个区。砂泥比将介质能量纳入分类,一定程度上可以反映介质的运动强度及浑浊度,粉砂和

黏土的比值可反映沉积物的扰动程度。因此, Pejrup 三角图能有效的识别和划分沉积环境及动力条件, 许多学者应用该方法在近岸海域开展相关研究并取得大量可信成果<sup>[2,4-5]</sup>。

本文采用 Gao-Collins 二维模型<sup>[16]</sup> 进行粒径趋势分析, 探讨湛江湾海域表层沉积物的输运格局。粒径趋势分析主要分 3 步: ①对每两个相邻的采样点进行比较, 根据粒度参数(平均粒径、分选系数、偏态), 判断沉积物净运输方向上有较高出现概率的 2 种类型的粒径趋势, 进而提取所有的粒径趋势矢量; ②求出每个采样点的趋势矢量之和; ③对合矢量进行平滑处理, 消除“噪声”, 处理后的趋势矢量即代表沉积物净运输趋势。这种方法已被广泛应用于多种海洋环境, 如潮汐汉道海湾、河口三角洲海岸、砂质海滩、潮滩、河口与内陆架、半封闭海等<sup>[17-20]</sup>, 均能有效的反映了研究区沉积物的运移趋势, 成果可信。

### 3 结果

#### 3.1 表层沉积物粒级组分特征

研究区表层沉积物按粒径可以分为砂、粉砂和黏土 3 种组分, 未见砾, 粒级组分整体变化范围较大。

研究区表层沉积物中砂粒级组分的含量范围为 1.37%~100%, 平均 63.23%, 变化范围较大, 是研究区含量最多、分布最广的粒级组分。含量高值区主要分布在湾口潮流深槽东北部浅滩、南部浅滩及湛江港航道两侧, 含量普遍 >80%, 湛江湾内高值区位于东北部靠近南三岛的近岸海域, 含量 >60%。研究区东北部、硇洲岛北部、湛江湾湾口及湾内西南部为低值区(图 2a)。

研究区表层沉积物中粉砂粒级组分的含量范围为 0~72.44%, 平均 27.93%, 变化范围较大, 粉砂粒级组分含量整体上与砂粒级组分在空间分布上成相反趋势, 湾口潮流深槽东北部浅滩、南部浅滩及湛江港航道两侧为粉砂组分含量低值区, 含量普遍 <20%, 局部含量为零。含量高值区主要位于研究区东北部、硇洲岛北部、湛江湾湾口及东头山岛南北两侧(图 2b)。

研究区表层沉积物中黏土粒级组分范围为 0~26.22%, 平均 8.80%。黏土组分的空间分布整体上与粉砂组分相似, 与砂组分的分布特征相反。研究区东北部、硇洲岛北部以及湛江湾湾口及湾内为

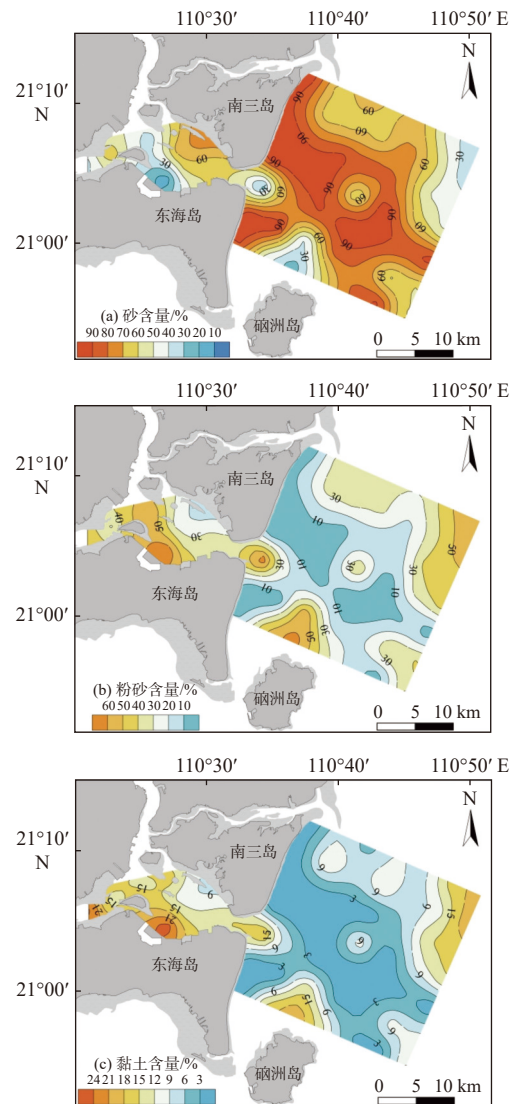


图 2 表层沉积物粒级组分百分含量分布图

Fig.2 Percentage of grain size compositions of surface sediments

黏土含量高值区, 黏土含量普遍 >12%。其余地区黏土含量均较低, 多数 <6%, 其中, 南三岛及东海岛东部近岸海域表层沉积物黏土含量几乎为零(图 2c)。

#### 3.2 表层沉积物粒度参数特征

沉积物粒度参数的综合分析可以很好地判定水动力条件及识别沉积环境<sup>[21]</sup>。本文重点对研究区海域表层沉积物的平均粒径( $Mz$ )、分选系数( $\sigma$ )、偏态( $Sk$ )和峰态( $Kg$ )等 4 个参数进行分析(图 3)。

研究区表层沉积物的平均粒径介于  $0.60\Phi\sim 7.02\Phi$ , 均值为  $3.93\Phi$ , 大多集中在  $2\Phi\sim 5\Phi$ , 沉积物颗粒总体较粗, 反映研究区沉积动力较强。 $Mz < 4\Phi$  的粗颗粒物主要分布在南三岛及东海岛东部近岸海域、湛江湾外部航道南北两侧、湛江湾内北

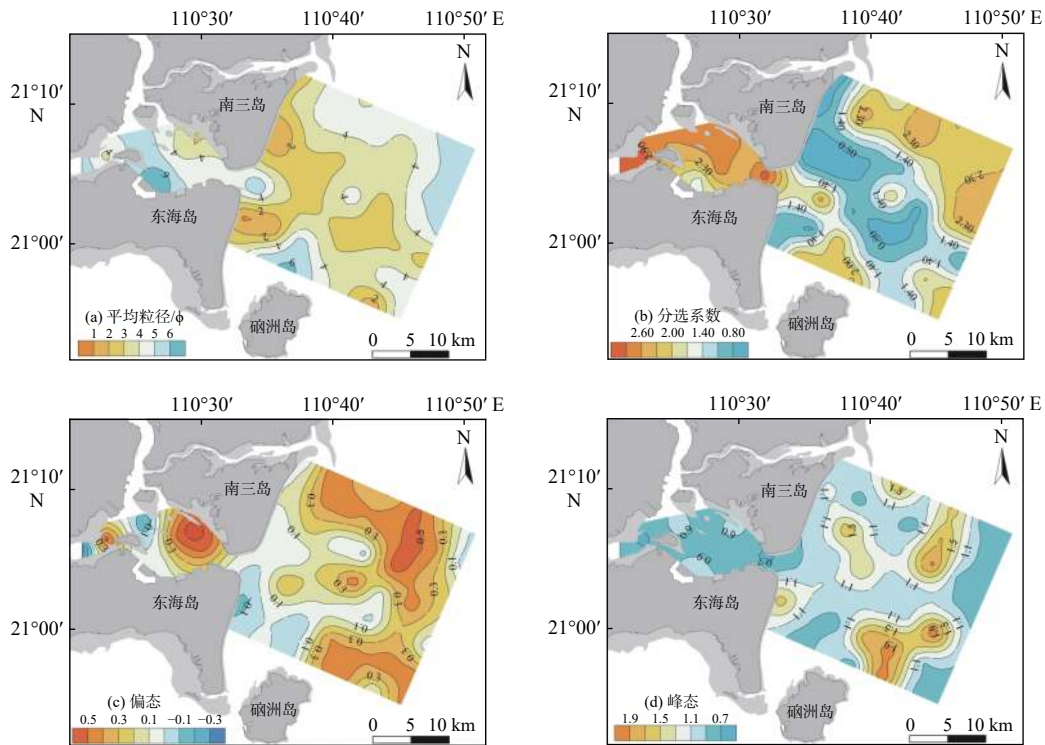


图3 表层沉积物粒度参数分布图

Fig.3 Spatial distribution of grain size parameters of the surface sediments

东侧, 细颗粒物主要分布在研究区东北部、硇洲岛北部以及湛江湾湾口及湾内(图3a)。

研究区表层沉积物的分选系数变化范围为0.51~3.17, 平均值为1.80, 分选程度大多为较差(1.00~2.00)或差(2.00~4.00)级别。南三岛、东海岛东部近岸海域及湛江湾外海中部是本区分选程度最好的, 部分可归为分选中等(0.71~1.00), 个别地区分选较好(0.50~0.71)(图3b)。

研究区表层沉积物的偏态值为-0.35~0.69, 平均0.22, 可分为很负偏(-1.0~-0.3)、负偏(-0.3~-0.1)、近对称(-0.1~0.1)、正偏(0.1~0.3)和很正偏(0.3~1.0)4级。研究区大多数海区为正偏和很

正偏分布, 在湛江湾口、南三岛东部、硇洲岛北部和东海岛北部等局部海域呈近对称分布, 负偏态仅有零星分布(图3c)。

研究区表层沉积物的峰态变化范围为0.63~2.16, 平均值为1.07。大部分海区以正态分布(0.90~1.11)为主, 硇洲岛东北部、研究区北部、东海岛东部有少量尖锐(1.11~1.56)和很尖锐(1.56~3.00)分布类型(图3d)。

### 3.3 表层沉积物类型分布与特征

采用 Folk 法进行分类命名, 研究区表层沉积物可分为5类(图4), 分别是砂(S)、粉砂质砂(zS)、

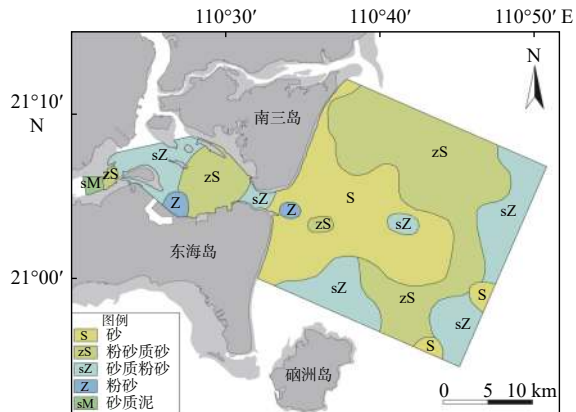
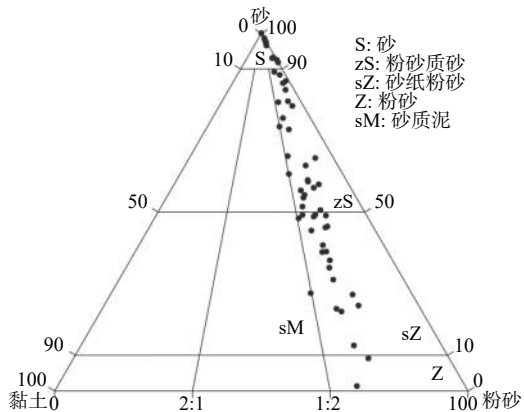


图4 研究区表层沉积物类型分布图 (Folk 分类)

Fig.4 Distribution of surface sediment types in the study area (Folk's classification)

砂质粉砂(sZ)、粉砂(Z)和砂质泥(sM)。

砂(S)约占采样站位的 24.6%, 是本区较多的一种类型, 主要分布于南三岛和东海岛东部近岸海域以及湛江湾外海中部海域。粒度组分中砂含量范围 91.79%~100%, 平均含量 97.09%; 粉砂含量范围 0~8.13%, 平均含量 2.59%; 黏土含量范围 0~

0.90%, 平均含量 0.16%。典型样品频率直方图(图 5a)呈单峰态, 峰值众数 2Φ~4Φ, 整体分选性较好。频率累计曲线显示跃移组分为主, 占总组分 95% 左右, 斜率大, 表明跃移组分分选好, 成分较为单一。跃移组分与悬移组分的分界点在 4Φ 左右, 悬移组分含量 < 5%, 分选较差。

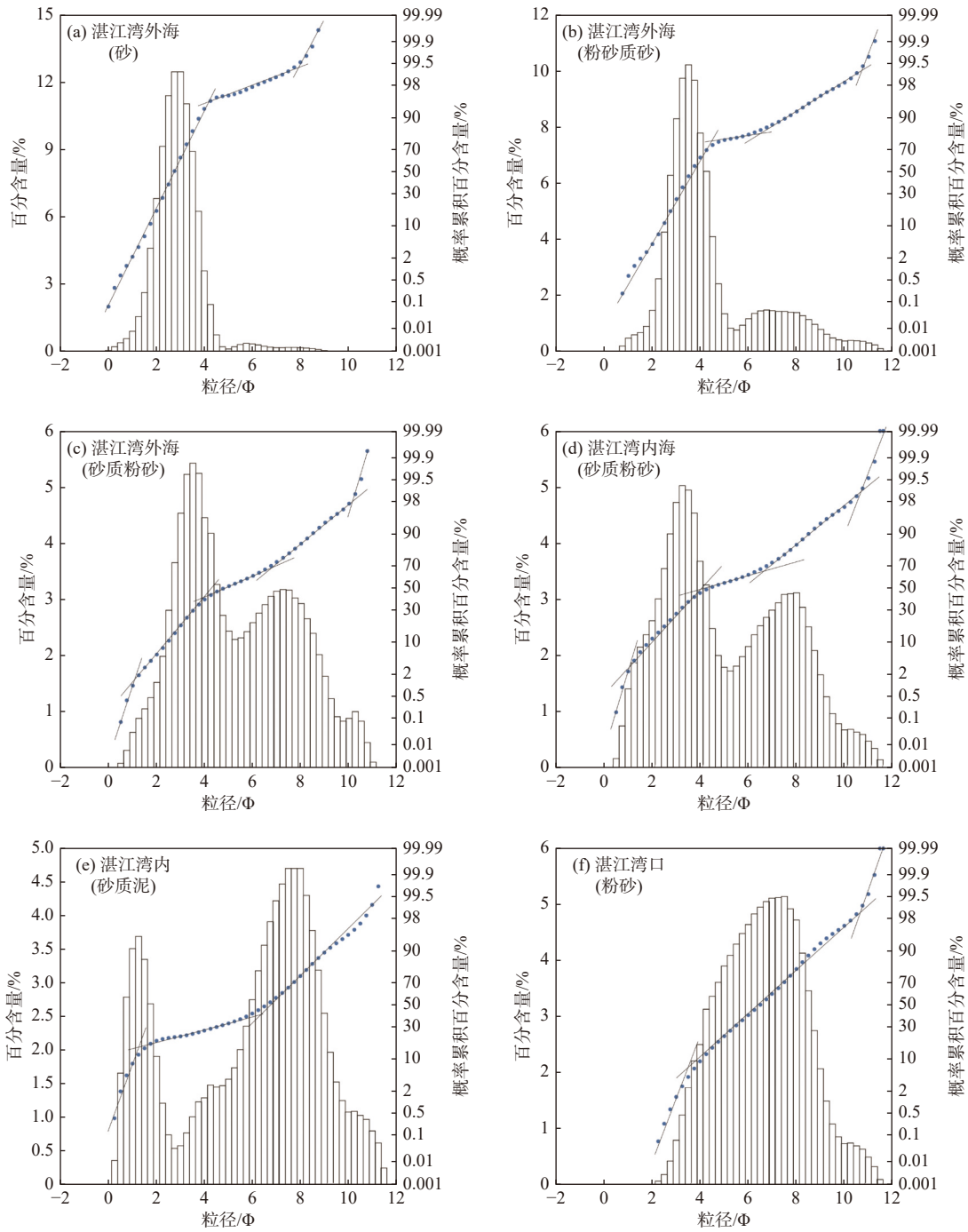


图 5 湛江湾典型沉积物粒度频率分布及概率累计曲线

Fig.5 Size distribution and probability cumulative curve of typical sediments in the Zhanjiang Bay

粉砂质砂(zS)占总采样站位的 39.3%, 在研究区内分布最广, 分布于湛江湾中部、湛江湾外海

10~20 m 等深线之间的区域。粒度组分中砂含量范围 50.54%~89.22%, 平均含量为 68.85%; 粉砂含

量范围 8.48%~39.04%，平均含量为 23.87%；黏土含量范围 0.77%~14.26%，平均含量 7.27%。典型样品频率直方图(图 5b)呈不对称双峰态，主峰众数值在 2.5 $\Phi$ ~4.5 $\Phi$ ，以细沙、粗粉砂为主，分选性较好，次峰跨度大，众数值在 6 $\Phi$ ~9 $\Phi$ ，分选性较差。频率累计曲线显示主要由跃移组分和悬移组分组成，跃移组分约占 80%，跃移组分与悬移组分的分界点在 4 $\Phi$  左右，悬移组分多段，说明搬运方式多样。

砂质粉砂(sZ)占采样站位的 31.1%，也是本区较多的一种类型，主要分布研究区东部、硃洲岛北部、东头山岛周围及湛江湾口附近。粒级组分中砂含量范围 12.7%~49.25%，平均含量 37.39%；粉砂含量范围 34.88%~66.03%，平均含量 47.36%；黏土含量范围 9.86%~21.26%，平均含量 15.24%。典型样品频率直方图(图 5c、d)呈双峰态，主峰众数值在 2.5 $\Phi$ ~4 $\Phi$ ，次峰众数值在 6.5 $\Phi$ ~8.5 $\Phi$ 。频率累计曲线为多段式，说明搬运方式多样，沉积类型较为复杂。

以上 3 种主要沉积物类型分布在湛江湾口外海呈明显的扇状分带性：从湾口向外海，沉积物类型依次为砂、粉砂质砂和砂质粉砂，沉积物粒度有逐渐变细的趋势，这种沉积规律与水下三角洲海底地貌相一致。

砂质泥(sM)仅有一个站位，位于东海大堤东侧。

频率直方图(图 5e)呈不对称双峰态，主峰值集中在 7 $\Phi$ ~8 $\Phi$ ，次峰值集中在 1 $\Phi$ ~2 $\Phi$ 。概率累积曲线表现为推移-跃移-悬移的三段式，推移和跃移、跃移和悬移组分分界点分别约为 1 $\Phi$  和 6 $\Phi$ ，其中推移组分含量约 20%，跃移组分含量 10%，悬移组分 70%，整体反映沉积水动力较弱。

粉砂(Z)仅在口门外冲刷深槽底部及东头山岛西南有零星分布，频率直方图(图 5f)呈单峰态，峰值集中在 6 $\Phi$ ~8 $\Phi$ 。概率累积曲线呈三段式，推移和跃移、跃移和悬移组分分界点分别约为 3.5 $\Phi$  和 10 $\Phi$ ，推移组分粒径范围 2 $\Phi$ ~3.5 $\Phi$ ，含量约 10%。跃移组分含量约为 88%，斜率较缓，说明分选较差。悬移组分含量约为 2%。

## 4 讨论

### 4.1 沉积动力环境分区

研究区表层沉积物 Pejrup 三角投图结果如图 6 所示，样品投点分别落于 AⅣ、BⅢ、BⅣ、CⅢ、CⅣ、DⅢ 6 个区。从 I、II、III、IV 4 个分区来看，投点几乎全部落于 III、IV 区内，靠近粉砂端元，证明沉积水动力较强。从 A、B、C、D 4 个分区来看，均有分布，从 A 区到 D 区，水动力强度逐渐减弱。

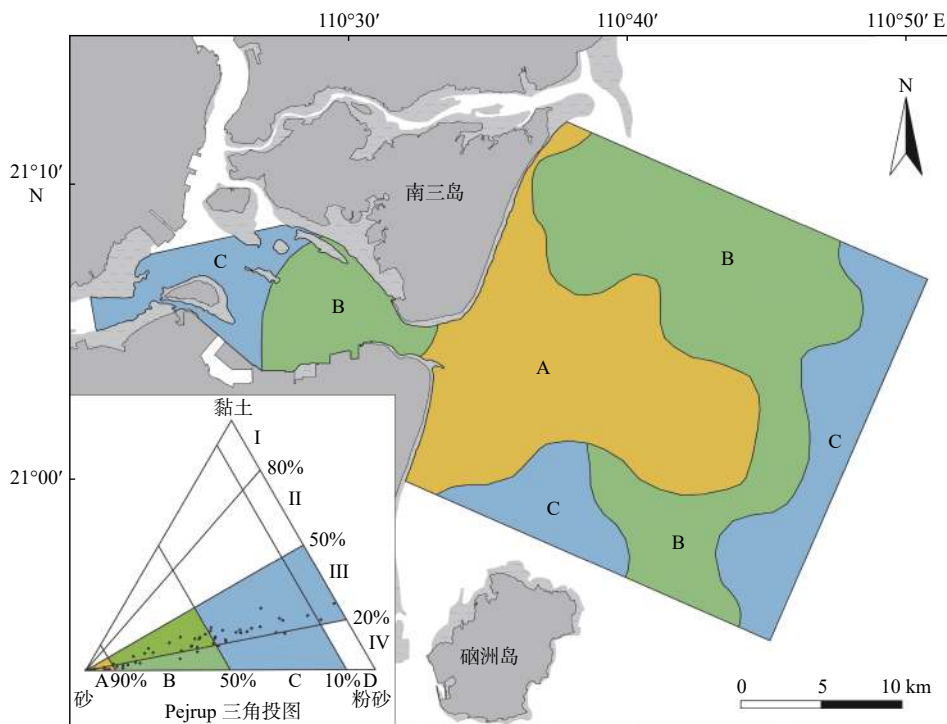


图 6 研究区沉积动力环境分区

Fig.6 Classification of sedimentary dynamic environment of the study area

结合研究区沉积物特征、海底地形地貌、潮流等, 消除个别异常点, 将研究区沉积动力环境综合划分为 A、B、C 3 个区。

A 区有 16 个站位, 主要分布在湛江湾外海的中部及西部近岸海域, 大部分地区水深 < 10 m, 深水航道附近水深可到 30 m, 地貌上为湛江湾口外落潮三角洲东北浅滩、西南边滩、拦门砂浅滩及人工深水航道, 沉积物类型主要为砂, 少量为粉砂及砂质粉砂, 沉积物粒径偏粗, 砂质含量高, 粉砂和黏土组分含量较低, 分选性较好, 反映了较强的水动力环境。湛江湾口门外海域水动力来源主要包括潮流、波浪和沿岸流, 研究区海流主要为粤西沿岸流, 沿岸线方向常年向西, 可将珠江以西入海河流(九龙江、漠阳江、鉴江等)沉积物沿岸线向西输运<sup>[22]</sup>, 特别是研究区北部的鉴江, 入海泥沙在沿岸流的推动下, 以推移和跃移的形式搬运至湛江湾口门附近, 随着水流的扩散作用和口门落潮流的阻拦, 在湾口北侧沉积下来, 为落潮三角洲提供了主要的物质来源。而南侧的泥沙主要是落潮主水道北侧泥沙随涨潮流进入湾内, 再随退潮流涌向湾外, 加之 ENE 和 NE 向波浪作用, 粗粒物质在南岸沉积。研究区潮流运动以往复流为主<sup>[23]</sup>, 涨潮流经湾口南北两侧涨潮水道向口门辐聚, 而退潮流主要经落潮主水道向外辐散, 涨潮历时长于落潮历时, 最大涨潮流 35~66 cm/s, 最大落潮流 39~107 cm/s, 涨潮流对粗粒泥沙搬运能力不大, 而落潮流由于流速较大, 可将粗粒物质由湾内向湾外搬运<sup>[23]</sup>, 故落潮流对湾外水动力影响更大。研究区波浪以风浪为主, 常浪方向为 ENE, 经计算, 平均波高时, 浪基面位于水下 0.7~1.3 m, 最大波高时波浪作用可达水深 10 m<sup>[23]</sup>。当低潮位遇大波浪时, 落潮三角洲大面积浅滩, 暴露在浪基面以上, 受到较强的水动力影响, 对沉积物有明显的改造, 细粒物质可被远距离搬运, 粗粒物质在海底表层受波浪冲刷, 分选好, 成分单一。湛江湾口门外深水航道附近的几处细粒物质堆积, 一方面可能与此处存在的涡流有关, 林微等<sup>[11]</sup>通过潮流数值模拟发现, 接近转流时刻口门处会形成一个约 80 km<sup>2</sup> 的漩涡, 漩涡内水动力较复杂, 可能存在因不同流向水体相互对流而形成的水动力稳定区域。另一方面可能由于近年来围海造陆工程的建设, 纳潮量减少, 口门处动力减弱, 在深水区域 (>30 m) 水动力弱, 有利于细粒物质沉积。

综合上述分析, 该区沉积物是在潮流、波浪、沿岸水流、海底地形及北部鉴江来砂的共同作用下堆

积形成的<sup>[12-13]</sup>, 沉积水动力整体较强, 处于高能动荡的沉积环境。东北浅滩主要受波浪和沿岸流作用, 拦门砂浅滩主要受落潮流和波浪作用, 西南边滩主要受波浪和潮流的共同作用。

B 区有 25 个站位, 有湾外和湾内 2 个区域, 湾外 B 区主要位于口门外落潮三角洲外围, 平均水深 > 10 m, 波浪作用对底部沉积物影响较小。该区域距离湾口 10 km 以上, 从口门外处流的高流速落潮流经拦门砂浅滩的阻拦, 加之向外海辐散, 流速大幅度减小, 动能明显减弱。北部鉴江大部分悬沙在河口淡水与咸水交汇区絮凝沉降, 随沿岸流向湛江湾外海域运输。破浪在 A 区淘选的细粒物质随落潮流运输到该区域, 随动能减弱而在此处落淤。所以湾外 B 区代表了较弱的水动力环境; 湾内 B 区位于湾内浅滩, 水深约 5 m, 口门处东海岛和南三岛互为犄角, 有效的阻挡了湾外的波浪向湾内传播, 湾内波浪作用明显减弱, 为小风区波浪, 浪基面不及水下 2 m 等深面<sup>[13]</sup>, 2 m 以下水域则不会受到波浪影响。湾内水动力主要以潮汐作用为主, 涨潮流进入狭窄的口门后, 受地形影响水体大范围辐散, 流速降低, 动能减少, 粉砂粒级的碎屑物大量落淤。近年来, 人类活动对海湾内水动力环境也产生了一定影响。随着填海工程陆续建成, 2003—2015 年, 湾内水域面积减少 3.2%, 纳潮量减少 3.4%<sup>[10]</sup>。由于纳潮量的减少, 使口门处过水量相对减少, 流速也相应降低, 涨潮时湾外的泥沙在湾内淤积强度增大<sup>[8]</sup>, 粉砂粒级颗粒更易在浅滩附近落淤。虽然湾内和湾外 B 区水动力的主导因素不同, 但是二者都反映了相对较弱的水动力环境。

C 区有 20 个站位, 有研究区东部、硇洲岛北部及湛江湾内西部 3 个区域, 研究区东部的 C 区, 由于离岸较远, 水深较深, 底层水体相对稳定, 波浪、潮流、沿岸流对底层沉积物影响较小, 沉积物未受到强烈改造, 以粉砂、黏土粒级为主, 残留有砂粒级颗粒, 整体呈正偏态; 硇洲岛北部区域的 C 区, 地貌单元属硇洲岛深槽, 该区域沉积物粒径较细, 粉砂、黏土含量较高, 呈正偏态, 与 A 区沉积物有明显差异, 表现为弱的水动力环境。该区域由于水深变深, 潮流和波浪作用相对较弱, 粉砂、黏土在此处落淤, 形成混杂堆积; 湛江湾内西部的 C 区站位主要位于东头山岛周边, 水深 > 10 m, 水交换能力相对较弱<sup>[10]</sup>。1961 年东海大堤建成后, 东海岛西侧海湾水道被堵死, 水体流动性变差, 潮流冲刷作用减弱, 从而引起地形冲淤。2003—2007 年, 宝满港区的围填海工程

建设使水交换率降低了约 4%<sup>[10]</sup>, 一系列的人类活动进一步削减了该区域的水动力, 使得细粒物质大量沉积。

#### 4.2 沉积物运移趋势分析

采用 Gao-Collins 二维“粒径趋势分析”方法对研究区沉积物运移趋势进行分析, 为保证结果有效性, 选取最大采样间距 5.8 km 为特征距离, 分析结果见图 7 所示。图中矢量箭头的方向即为沉积物运移趋势的方向, 箭头的长度不代表运输速率的大小, 仅表示粒径运移趋势的显著性<sup>[16,18]</sup>。

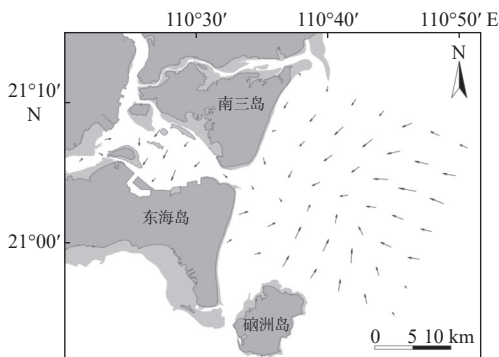


图 7 研究区表层沉积物净输运趋势

Fig.7 The trend of net transportation of surface sediments in the study area

湛江湾内外沉积物运移趋势表现出明显不同的特征, 湛江湾内, 表层沉积物整体表现为向南、向东的运移趋势, 主要往潮流深槽方向运移, 受潮流控制明显。研究表明, 湾内落潮流速大于涨潮流速<sup>[12-13]</sup>, 这与湛江湾口沉积物向湾外运移的趋势相符。

湛江湾外有一沉降中心, 该位置大概位于落潮三角洲东北浅滩东南与东心滩附近, 整体表现为一个逆时针运移趋势。湾口受往复潮流控制, 沉积物表现为向东的运移趋势; 南三岛和东海岛近岸, 主要受 ENE 向和 SE 向风浪影响, 为离岸运输。其中南三岛东部受沿岸流影响, 整体向 SW 方向运移。受湛江湾潮汐汊道落潮水流的阻截, 东海岛东部运移方向未受沿岸流的影响, 运移方向为 NE 向。东部外海整体运移方向为 W 向, 可能与湛江湾外的逆时针环流有关<sup>[24-25]</sup>。

需要指出的是, 湛江湾内外表层沉积物的取样密度比较小, 尤其是湾内及湾口附近, 且边缘站位比例较高, “边缘效应”可能会对局部输运趋势分析的准确性产生影响。

#### 4.3 沉积环境影响因素分析

湛江湾海域沉积物来源复杂, 湾内主要由遂溪河流域来砂、环湾海岸侵蚀以及外海输入的泥沙组成。湾外主要由鉴江来砂、湛江湾内来砂、海岸侵蚀等组成<sup>[24]</sup>。陆源输入是湛江湾海域沉积物的主要来源, 由于河流闸坝以及鉴江塘尾分洪口等工程的建设, 河流入海的泥沙大幅度减少, 海岸侵蚀逐渐加剧。现场调查发现, 南三岛南端以及东海岛东北端岸线侵蚀后退现象明显。目前, 湛江湾内外的河流来砂、海岸侵蚀供沙及沿岸输沙都比较有限<sup>[12]</sup>, 泥沙的运移主要以波浪和潮流等作用下的就地起运搬运为主。

沉积动力方面, 研究区主要发育流系为粤西沿岸流, 湛江段的形成并非珠江口出来的冲淡水, 而是由陆架外海咸水涌升所致<sup>[24-25]</sup>。来自海南岛东岸的南海暖流, 受雷州半岛地形的影响, 在湛江湾海域形成一个逆时针环流, 在环流旋涡中心有来自珠江排出的细颗粒沉积物<sup>[24]</sup>。潮流与风浪方面, 湛江湾海域的潮汐为不正规半日潮, 受地形影响, 涨潮历时大于落潮历时, 潮流为往复流, 落潮流速大于涨潮流速。潮流是塑造湛江湾海底地貌的主要动力, 由于口门的束窄作用, 口门及其附近流速极大、动能极强, 通过不断的侵蚀, 形成了口门深槽及口外落潮三角洲等地形。湛江湾海区波浪以风浪为主、涌浪次之。湾内波浪基本为小风区波浪, 以偏东、偏北方向为主, 波高较小, 仅能影响高潮线附近及潮间浅滩的泥沙运移。湾外波浪较强, 年平均波高 1 m, 最大波高 6.1 m (1997 年 9713 号热带气旋引起)<sup>[26]</sup>, 波浪作用是湾外沿岸泥沙输移的主要动力, 对湛江湾口外拦门浅滩形态影响重大<sup>[23]</sup>。

人类活动方面, 近年来, 随着湛江经济社会的发展, 围填海、航道建设、海砂开采等人类活动对湛江湾海域水动力环境、泥沙冲淤等方面的影响已引起广泛关注<sup>[8-10,12,26-27]</sup>。湛江湾内的港口建设、钢铁基地、石化基地等围填海工程, 致使湾内纳潮面积大幅减少, 2015 年纳潮量已比 2003 年减少 3.4%<sup>[12]</sup>, 严重减弱口门通道的潮流转运泥沙的能力, 近年来湛江湾口门深槽出现的淤积趋势与此关系密切, 本次调查口门附近多个站位大量细粒沉积物的出现也可能与此有关。随着湛江港 30 万 t 级航道改扩建工程的进行以及东心滩、南侧浅滩等地海砂资源的即将开采<sup>[12]</sup>, 势必会引起局部水沙环境的变化,



将对海底地形地貌及沉积物的运移分布产生进一步的影响。

综上所述, 研究区表层沉积物运移和分布受控于泥沙供给和潮流、波浪、沿岸流等水动力环境的共同作用, 但近年来人类工程活动的影响亦不容小觑, 还需深入研究。

## 5 结论

(1) 湛江湾表层沉积物粒度分析显示, 沉积物组分以砂为主, 平均高达 63.23%; 粉砂和黏土含量较低, 平均分别为 27.83% 和 8.80%。从粒度参数来看, 沉积物平均粒径  $3.93\Phi$ , 以细沙为主, 分选程度较差; 粒度分布曲线以正偏、正态分布为主。沉积物类型绝大多数为砂、粉砂质砂、砂质粉砂, 粉砂和砂质泥仅出现于个别站位, 呈零星分布。

(2) 结合 Pejrup 三角图解, 将研究区沉积动力环境划分为 3 个区(A、B、C), 湛江湾海域沉积水动力整体较强, 湾内受地形影响, 水动力比湾外弱, 湾外动力强度整体向外海方向逐渐减弱, 与沉积物类型分布相吻合。

(3) 采用 Gao-Collins 粒径趋势分析模型分析, 研究区表层沉积物的运移趋势湾内与湾外表现出明显不同的特征: 湾内整体向南部潮流深槽方向运移; 湾外在落潮三角洲东北浅滩东南与东心滩附近有一沉降中心, 围绕这个中心周围整体表现为一个逆时针运移的趋势。

(4) 湛江湾海域表层沉积物的运移和分布主要受泥沙来源及潮流、波浪、沿岸流等沉积动力环境的共同作用, 近年来, 人类活动的影响在不断加剧。

### 参考文献:

- [1] 张连杰, 赵博, 王鹏, 等. 大连湾海域沉积动力环境与物质输运[J]. 海洋地质前沿, 2019, 35(6): 12-19.
- [2] 汤世凯, 于剑峰, 李金鹏, 等. 丁字湾近岸海域表层沉积物粒度特征及沉积动力环境[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2019, 39(2): 70-78.
- [3] 赵利, 蔡观强, 钟和贤, 等. 海南岛东南浅海表层沉积物粒度特征及沉积环境[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2021, 41(2): 64-74.
- [4] 刘成, 胡日军, 朱海龙, 等. 庙岛群岛海域沉积动力环境分区及沉积物输运趋势[J]. 海洋地质前沿, 2018, 34(8): 24-33.
- [5] 吕日轩, 胡日军, 李毅, 等. 烟台北部近岸海域表层沉积物粒度分布及沉积动力环境特征[J]. 海洋地质前沿, 2020, 36(4): 27-36.
- [6] 张际标, 姚兼辉, 陈春亮, 等. 湛江东海岛潮间带表层沉积物粒度的分布及环境要素的相关性[J]. 应用海洋学学报, 2015, 34(1): 49-56.
- [7] 陈碧珊, 陈诗敏, 何焯鹏, 等. 雷州半岛红树林湿地表层沉积物粒度分布特征[J]. 现代地质, 2019, 33(1): 198-205.
- [8] 李拴虎. 湛江湾外航道二侧浅滩冲淤变化的成因分析[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(35): 10595-10599.
- [9] 贺松林, 丁平兴, 孔亚珍. 湛江湾沿岸工程冲淤影响的预测分析[J]. 海洋学报, 1997, 19(1): 55-63.
- [10] 张志飞, 褚裕良, 何杰. 多年围填海工程对湛江湾水动力环境的影响[J]. 水利水运工程学报, 2016(3): 96-104.
- [11] 林微, 张乔民, 赵焕庭. 湛江港潮汐汉道落潮三角洲动力场模拟和沉积动态分析[J]. 热带海洋, 1995, 14(1): 54-61.
- [12] 韩志远, 谢华亮, 李怀远, 等. 湛江湾口外落潮三角洲演变特征[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(1): 45-50.
- [13] 赵冲久. 湛江湾水文泥沙特性分析[J]. 水道港口, 1999, 20(4): 16-21.
- [14] FOLK R L, ANDEWS P B, LEWIS D W. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand[J]. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 1970, 13(4): 937-968.
- [15] PEJRUP M. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach[C]/P. L. de Boer et al. Tide-influenced Sedimentary Environments and Facies. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1988: 289-300.
- [16] GAO S, COLLINS M. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of "Transport Vectors" [J]. *Sedimentary Geology*, 1992, 81(1/2): 47-60.
- [17] 时翠, 甘华阳, 夏真, 等. 珠江口内伶仃洋表层沉积物粒度特征及其运移趋势[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2015, 35(1): 13-20.
- [18] 高抒. 沉积物粒径趋势分析: 原理与应用软件[J]. 沉积学报, 2009, 27(5): 826-836.
- [19] 程鹏, 高抒. 北黄海西部海底沉积物的粒度特征和净输运趋势[J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(6): 604-615.
- [20] 李亮, 何其江, 龙根元, 等. 南海宣德海域表层沉积物粒度特征及其输运趋势[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2017, 37(6): 140-148.
- [21] 刘志杰, 公衍芬, 周松望, 等. 海洋沉积物粒度参数3种计算方法的对比研究[J]. 海洋学报, 2013, 35(3): 179-188.
- [22] 曹立, 刘建国, 何伟, 等. 华南沿岸大型河流粘土矿物组合特征及对南海北部沉积物的贡献[J]. 地球科学, 2018, 43(2): 192-202.
- [23] 叶春池, 黄方. 湛江港口门潮汐地貌体系的沉积环境和沉积作用[J]. 海洋通报, 1994, 13(1): 51-58.
- [24] 许冬, 初凤友, 李家彪, 等. 粤西—琼东北近海沉积物的运移和沉积[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2014, 44(3): 905-917.
- [25] 杨毅, 徐艳东, 王发云, 等. 粤西沿岸流和物质输移模型研究及应用[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(19): 80-85.
- [26] 中国科学院南海海洋研究所. 湛江港30万吨级航道改扩建工程环境影响报告书[R]. 广州: 中国科学院南海海洋研究所, 2018.
- [27] 余科平, 张琴. 湛江湾海砂开采对周边海域水动力特征的影响[J]. 人民珠江, 2017, 38(10): 65-71.

## Grain-size characteristics of surface sediment and sedimentary environment in Zhanjiang Bay

HAO Liancheng<sup>1</sup>, YUAN Jidong<sup>1,2</sup>, ZHENG Lilong<sup>1</sup>, ZHANG Jiankang<sup>1</sup>, ZHANG Decheng<sup>1</sup>, DAI Youxu<sup>1\*</sup>

(1 Yantai Center of Coastal Zone Geological Survey, China Geological Survey, Yantai 264004, China;

2 School of Ocean Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Based on the results of particle size analysis of 61 surface sediment samples collected in October, 2020 in Zhanjiang Bay, Guangdong, China, the particle size parameters of sediments were summarized, and the sediment types were classified. The Pejrup triangle diagram was used to divide the sedimentary dynamic environment of Zhanjiang Bay. The Gao-Collins particle size trend analysis model was used to explore the sediment migration trend. Results show that there are five types of surface sediments in Zhanjiang Bay, among which sand, silty sand, and sandy silt are the most widely distributed. The particle size composition is mainly fine sand, and the average particle size is  $3.93\Phi$ . The sorting is poor. The particle size distribution curve is mainly positive and normal distribution. The discriminant diagram of sedimentary dynamics reveals that the sedimentary hydrodynamic force in Zhanjiang Bay is strong; and it is generally weaker inside the bay than outside the bay and gradually weakens oceanward. The particle size trend analysis shows that the whole water in Zhanjiang Bay moves to the tidal deep trough in the south, while water of outer bay flows counterclockwise around the sedimentary center. The movement and distribution of surface sediments in the bay are mainly affected by sediment sources and sedimentary dynamic environments such as tides, waves, and coastal current. In recent years, the influence of human activities has become more obvious.

**Key words:** surface sediment; grain-size parameters; transport trend; sedimentary dynamic environment; Zhanjiang Bay