

青岛唐岛湾潮间带沉积物 粒度及水动力

梁文栋,周瑶琪,孙 棋,岳会雯,张振凯

(中国石油大学(华东)地球科学与技术学院,青岛 266580)

摘 要:唐岛湾为半封闭狭长型海湾,水动力条件复杂。对湾内潮间带沉积物进行定点定时取样,并进行粒度测试。分析表明:沉积物以砂和粉砂质砂为主,分选较差,偏度正偏,呈宽峰态;概率累积曲线以两跳一悬式为主。利用粒度—标准偏差曲线研究现代沉积,沉积物中粒径 $<158.6\ \mu\text{m}$ 的组分受潮流影响显著, $158.6\sim 369.1\ \mu\text{m}$ 和 $>369.1\ \mu\text{m}$ 的粒级组分则分别代表波浪和强水动力如风暴浪等的作用;且通过对各粒径组分的分析认为,粒径 $<158.6\ \mu\text{m}$ 的组分中潮汐作用的月周期性最为明显。在狭长型海湾中,潮流水动力强度可能并不大。最后结合相关资料,对唐岛湾内潮坪沉积、潮沟变化及沉积物冲淤变化进行了分析,以期对半封闭狭长型海湾潮间带沉积水动力研究及实施海岸带保护提供基础资料。

关键词:粒度参数;环境敏感组分;波浪;潮流

中图分类号:P736

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2015.12004

唐岛湾为一狭长型海湾,而沉积受潮流、波浪、岸线变化及河流注入等多种因素影响,潮滩沉积物在短距离内发生变化,从而造成局部成分分异大^[1]。沉积物粒度主要受搬运介质、动力作用强弱和搬运方式等因素控制,因而可以通过沉积物粒度特征推断沉积物发生沉积时的动力条件^[2,3]。但沉积物受多种物源或沉积动力过程的混合作用,全样的粒度参数只能近似地作为沉积环境的代用指标^[4,5]。而环境敏感粒度组分对沉积环境中水体能量变化敏感,能够指示沉积环境中不同能量的水动力作用。不同能量的水动力所能搬运、沉积的沉积物粒度具有一定的范围,超过这个范围的沉积物将不能在该水动力条件下被搬运和沉积,即不同能量的水动力具有不同的环境

敏感粒度组分^[6]。因此,要分析水动力情况,需要对环境敏感组分进行提取。目前主要应用的数学方法包括以 Weibull 函数为拟合函数法^[7]、端元粒度模型法^[5]和粒度—标准偏差法^[6,8,9]。本文即采用粒度—标准偏差法研究水动力条件及对沉积物的影响。

前人研究对象集中于古地史时期或较大范围尺度的沉积物的敏感组分,且样品采集于剖面沉积物或柱状样,而在短期范围内或现代沉积物的敏感粒径变化尚无应用。故通过粒度—标准偏差曲线与概率累积曲线结合,可研究海湾沉积物分布规律及水动力条件,分析潮流对潮间带沉积物的影响,对海岸带和狭长型海湾沉积物的研究以及实施海岸带保护都有重要意义。

1 区域概况

海湾由于被陆地毗邻或环绕,所以其相对利用强度要高于其他海域,所以其冲淤变化也更为

收稿日期:2015-09-07

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金
(14CX06080A)

作者简介:梁文栋(1989-),男,在读硕士,现主要从事沉积盆地相关的工作。E-mail:liangwendong09@163.com

人们所关心。前人对青岛胶州湾^[10]、灵山湾^[11]等地区的沉积物搬运进行了较多的关注,而对于其他海区,则研究较少。唐岛湾位于山东省青岛市黄岛经济开发区,东起薛家岛的鱼鸣咀,西至灵山卫镇的炮台咀,呈狭长的口袋状,属半封闭狭长型

海湾(图 1a)。从地理位置看,唐岛湾为狭长海湾,湾内岛屿使本湾的动力复杂化^[12]。其原因为,潮间带地势较高,受波浪、潮流冲刷显著,且采样区受河流注入及岸线变化(图 1)影响,所以水动力条件较为复杂。

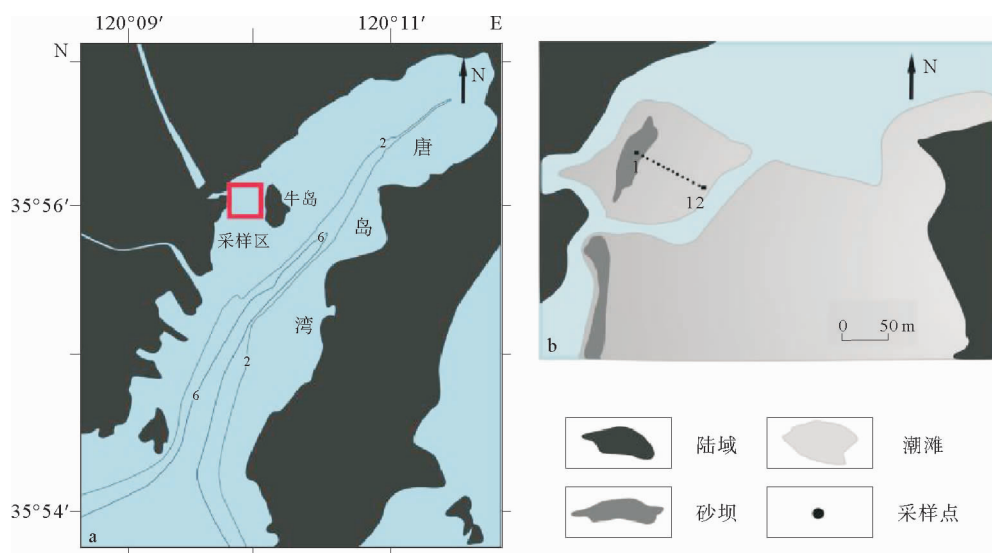


图 1 研究区以及采样点示意图

Fig. 1 Location map of study area and sampling points

唐岛湾为正规半日潮海区,潮流运动形式主要为往复流,湾内涨潮流方向主要为 N—NE 向,落潮流方向主要为 S—SW 向,且由数值模拟^[12]可知,落潮时的悬沙浓度明显大于涨潮时期。牛岛东南侧的基岩地层之上有一条人工开凿的航道,水深由湾顶向湾口增加,为主要的潮汐通道。牛岛西侧 NE—SW 方向上有一条宽约 10 m 的主潮沟,分支潮沟发育不明显。

唐岛湾水深较浅且走向特殊,故除西南向波浪以外,其他方向波浪较难进入湾内^[13]。据团岛等站的观测资料分析,本区常年多 SE 和 NNW 风,风向有明显的季节变化,春夏基本一致,盛行 SE 向风,累年年平均风速为 5.5 m/s。由于采样时间主要集中于春夏两季,湾内自生浪多为 SE 向。唐岛湾西侧有一季节性河流—岔河,随着水利基础设施的建设,河流向海输沙能力变得非常微弱^[14]。

本区沉积物来源主要有河流输沙、海岸侵蚀来沙,但来沙量有限^[13]。唐岛湾工程建设及航道治理等措施都对本区沉积物的来源与分布有重要

影响。唐岛湾曾于 2001 年在牛岛两侧修建拦海坝以便湾区疏浚及航道治理,坝体填充材料为现场的淤泥混砂;唐岛湾沿岸进行了大量工程建设(如海上嘉年华等)以及为方便施工而进行了部分填砂工程。

根据对唐岛湾 2014 年 4 月 1:1 000 水深地形图的研究,认为湾内淤积严重,普通船只不能通行,景观效果很差。对唐岛湾进行清淤,改善其水动力条件,是必然趋势,因此,对唐岛湾沉积物特征及水动力分析可为研究唐岛湾整体冲淤变化以及实施海岸带保护提供基础资料。

2 采样及分析

由于国家海洋局第一海洋研究所已在唐岛湾海域获取了 42 个表层沉积物样品,并分析了其沉积物的类型和特征信息^[15],本研究为进一步明确唐岛湾各水动力的大小,对潮间带周期性被潮水淹没的地区进行了定点定期重复采样。

本次采样区面积小($<1 \text{ km}^2$),地势平缓,水

动力较弱^[16],其沉积物周期性露出水面,采样方式主要为直接在落潮后露出的滩面上刮取表面沉积物(图 1b)。采样时间从 2014 年 4 月底至 9 月末,每半月采一次样,其中 8 月底与 9 月中旬未采样,而在 9 月下旬进行了连续 5 天的密集采样,共采集样品 174 个。样品点分布如图 1b 所示,在垂直岸线方向上,从砂坝东缘向牛岛方向布置测线,以 10 m 为间隔采集 12 个样品,编号为 1~12。为保证每次采样点位置一致,采用 10 m 长的细绳控制间距,并在采样点起始点和结束点选取标志物对采样方向进行控制。

本研究的粒度分析在中国石油大学(华东)进行。先向样品分别加入 15% 双氧水和 10% 的盐酸并水浴加热,除去沉积物中的有机质和贝壳、有孔虫等;然后加蒸馏水清洗并经离心机离心 3 次,处理后的样品经超声波震荡分散后,用 Bettersize 7.1 激光粒度仪进行粒度分析,测量范围在 1~2 600 μm 之间,相对重复测试误差 $<3\%$ 。

3 沉积物特征

3.1 沉积物粒度参数

据 Shepard 三角分类(图 2),采样区沉积物以粉砂质砂和砂为主,砂质粉砂出现较少。

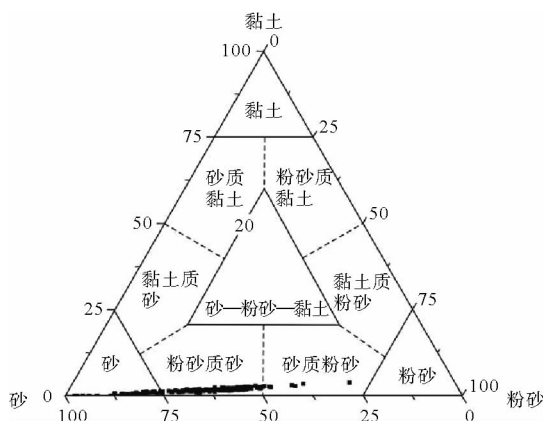


图 2 Shepard 沉积物分类(1954)

Fig. 2 Sediment classification (1954)

沉积物的粒度参数,包括平均粒径(M_z)、分选系数(S_d)、峰度(S_k)、偏度(K_u)均按照 McManus 矩值法^[17]进行计算。平均粒径反映粒度集中分布趋势,样品的平均粒径在 $1.51\Phi\sim5.09\Phi$

($29.36\sim351.11\mu\text{m}$)之间,跨度较大,靠近砂坝处(点 1~点 3)平均粒径大于其他点位处。分选系数根据贾建军等的分类标准^[18]计算,靠近砂坝处的 5 个采样点(点 1~点 5)分选系数跨度较大,介于 $0.97\sim1.88$ 之间,分选中等—较差,点 6 到点 12 处分选系数介于 $1.54\sim1.93$ 之间,分选较差。偏度反映了粒度分布的不对称性,沉积物偏度介于 $0.65\sim2.03$ 之间,显示为正偏—极正偏。峰度值介于 $2.75\sim8.54$ 之间,说明峰的分布范围很宽—非常宽。

3.2 概率累积曲线特征

粒度概率累积曲线能够反映沉积物沉积时的自然地理条件、水动力条件、搬运方式和流体性质等特征^[19],是沉积相分析中的重要相标志。受不同水动力影响,粒度概率累积曲线组合特征也会不同。本区的概率累积曲线主要有 3 种形态:滚动—跳跃—悬浮式(图 3a、b)和两跳—悬浮式(图 3c)。

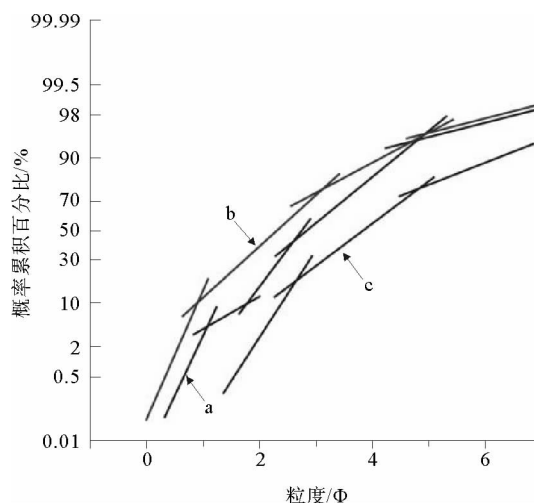


图 3 唐岛湾潮间带沉积物粒度概率累积曲线

Fig. 3 Probability cumulative curves of sediment from Tangdao Bay

在滚动—跳跃—悬浮式(图 3a、b)概率累积曲线中,跳跃总体含量 $80\%\sim90\%$,滚动总体与悬浮总体含量均 $<10\%$,跳跃总体与滚动总体的交截点在 1Φ 左右,而与悬浮总体的交截点在 5Φ 附近。区别在于曲线 a 跳跃总体有 3 段,而曲线 b 只有 2 个跳跃次总体,粗、细跳跃次总体分界点在 3Φ 附近。该 2 种类型曲线主要发育于靠近砂

坝及主潮沟的位置,反映了水动力较强且复杂。

两跳一悬式概率曲线(图 3c)由 3 条线段组成。跳跃总体分 2 段,含量 60%~80%,粗跳跃次总体倾角 50°~60°,细跳跃次总体直线段倾角在 30°~40°之间;悬浮总体含量在 20%~40%,在研究区远离砂坝的位置普遍发育该类型曲线,悬浮组分含量多,反映了水动力较弱。

3.3 粒级—标准偏差曲线特征

唐岛湾沉积环境在短时期内无明显变化,不同能量的水动力所能搬运、沉积的沉积物粒度具有一定的范围,超过这个范围的沉积物将不能在该水动力条件下被搬运和沉积,即不同能量的水动力具有不同的环境敏感粒度组分,因此,利用粒级—标准偏差曲线研究其沉积物及水动力特征。由于前 4 次采集样品的点位偏差稍大,故只取 5 月 28 日至 9 月 26 日采集的 11 次样品,作其粒级—标准偏差曲线,通过粒度实验分析获得样品各粒级的体积百分含量,并计算每一粒级对应含量的标准偏差。标准偏差越大,说明观测值的变异程度愈大,对水动力环境愈敏感^[6]。然后以对数粒级为横坐标,以标准偏差为纵坐标作图(图 4),标准偏差值最大的粒级即为环境敏感因子。

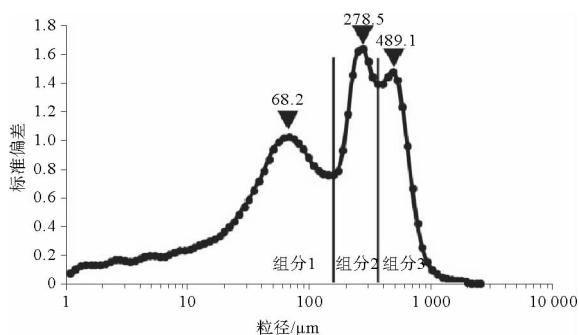


图 4 总样品粒级—标准偏差曲线

Fig. 4 Curve of grain size vs. standard deviation (all samples)

图 4 即为所有采样点的粒级—标准偏差图,其对应的 3 个峰值粒径分别为 68.2、278.5 和 489.1 μm ,从左到右 3 个峰之间的谷点分别为 158.6 和 369.1 μm 。以其谷点为界划分出 3 组敏感粒径,分别为 <158.6 、 $158.6 \sim 369.1$ 和

$>369.1 \mu\text{m}$,不同的粒径组分对不同能量的水动力敏感程度不同。

4 研究区水动力及沉积冲淤

4.1 唐岛湾各水动力条件大小

概率累积曲线和粒级—标准偏差曲线均可以反映水动力的情况,因此结合以上 2 种曲线,以点 6、点 12 处为例,对水动力进行分析(图 5)。

组分 1 一般对应概率累积曲线中的细跳跃次总体以及悬浮总体部分;组分 2 对应粒度较大的跳跃次总体,有时对应 2 个跳跃次总体,两者在中值和分选上略有差别;组分 3 一般对应跳跃次总体的最粗部分和滚动总体。组分 1 峰和组分 2 峰在不同点位上都一直存在,且组分 2 峰更为明显;组分 3 峰一般较强,在少数点位上不存在或十分微弱。

组分 1 含量约为 50%~90%;组分 2 含量主要位于 10%~50%之间;而组分 3 除少数点含量较高外,大多数点处都不存在或含量极低。

由上述特征可知,组分 3 含量较少且分布不均,对应粒度较粗,推测该敏感组分对应极强水动力条件,如风暴浪等。潮流和波浪等水动力对该沉积物影响较小,其再沉积后即很难被搬运。在粒度分析中极少的粗颗粒就会使频率曲线出现较大变化,造成粗颗粒处的标准偏差值较大,故该粒径处有明显的组分峰。

组分 2 敏感粒径(158.6~369.1 μm)代表的水动力能量较强,且分布广泛,对应跳跃次总体的冲刷—回流部分,而采样处地势较高,波浪触底使得沉积物发生搬运,故初步推测水动力为波浪作用。组分 1 敏感粒径($<158.6 \mu\text{m}$)代表的水动力较弱,分布广泛,对应细跳跃组分及粗悬浮组分,采样区为弱潮流区^[16],潮流能量较弱,故组分 1 可能受潮流作用显著。

刘旭英等^[20]分析了苏北新洋港潮滩柱状沉积物,其敏感组分一般 $<200 \mu\text{m}$;张存勇等^[21]利用端元模型法分析连云港近岸海域沉积物,认为端元 1(潮流沉积,粒径约为 15~90 μm)能量小于端元 3(波浪沉积,粒径 $>250 \mu\text{m}$)。连云港的大潮期间各垂线涨潮流流速为 0.29~1.00 m/s,

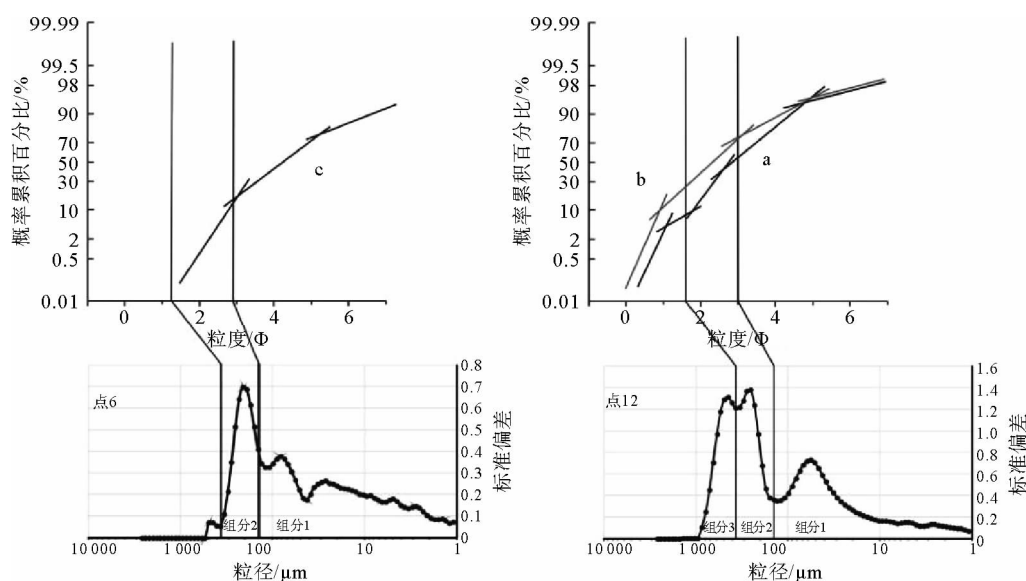


图 5 固定点处敏感组分与概率曲线对比

Fig. 5 Comparison of sensitive components and probability curve

落潮流流速为 $0.31 \sim 1.60 \text{ m/s}$ [22], 而据唐岛湾牛岛东侧主潮流通道处的水文全潮测验站数据, 其大潮期间垂线涨潮流流速为 $0.08 \sim 1.10 \text{ m/s}$, 落潮流流速为 $0.12 \sim 0.86 \text{ m/s}$, 可判断唐岛湾的潮流能量基本小于或等于连云港, 经对比则可佐证上述推断。故组分 2 体现了波浪作用对河流携带泥沙及海岸侵蚀来沙等较粗沉积物分布的原地改造作用, 而组分 1 则主要体现了潮流对细粒沉积物的搬运作用。

综上所述, 本区风暴浪对应于 $>369.1 \mu\text{m}$ 的敏感粒径组分, 其物源主要来自工程建设和部分基岩侵蚀产物; 波浪对应于 $158.6 \sim 369.1 \mu\text{m}$ 的敏感粒径组分, 其物源主要为河流携带物及海岸侵蚀来砂等; 而潮流对应于 $<158.6 \mu\text{m}$ 的敏感粒径组分。

4.2 潮坪沉积周期性及潮沟变化

潮汐作用具有周期性的特点, 而潮滩发育过程也包含有涨落潮周期、大小潮周期、月周期以及年周期等多种周期的波动。而由于波浪、地貌等非周期性因素的作用, 潮滩沉积的连续性受到破坏, 在某段不长的时间内 (如几个月到几年), 某些地点或部位可能会存在着相对连续的潮滩沉积序列 [23]。由于大小潮期间水动力差别明显, 双周周

期容易辨认, 但却只有较少的研究 [24,25] 识别出了月周期。

本区沉积物平均粒径可以识别出月周期的波动, 但受波浪等影响规律性并不十分明显, 计算出每组样品各组分平均粒径后, 经对比分析, 沉积物中组分 1 受潮汐的影响最为显著, 其月周期性最为明显。

由于采样时间间隔为半月, 消除了大小潮周期的影响, 因此, 可以更明显地观察到每组样品之间细粒组分平均粒径的月周期性波动, 点 5 和点 6 水动力较弱且稳定, 规律更加明显 (图 6)。而通过 9 月下旬连续 5 天采样观察发现, 由于采样时间稍前或稍后, 同一位置可以存在 $3 \sim 7 \mu\text{m}$ 的误差, 故在误差允许的范围内, 大部分点可以显示出明显的月周期的变化。

由于大、中、小潮的周期为 15 d 左右, 因此, 每次采样时的潮相相似, 而相隔半月与相隔一个月的样品的粒度有差别, 则可以用月球引潮力在近地点和远地点不同来解释。月球绕地球周期为一个月, 月球运行至近地点处的引潮力较大, 潮汐能量较高, 从而导致的沉积物粒度较大; 反之亦然。

影响潮沟发育的因素主要有潮差、潮坪宽度及起伏程度、植被、沉积速率、沉积物中黏土含量、

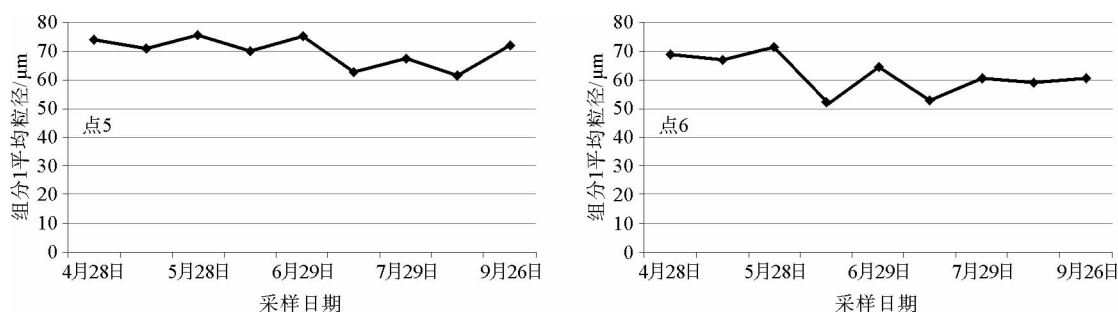


图 6 组分 1 平均粒径变化(点 5 和点 6)

Fig. 6 Change in average particle size of component 1 (point 5 and point 6)

涨落潮流的运动形式和人为因素等^[26]。本区发育一条主潮沟,由其形态及展布方向推测该潮沟是由陆上河流输入和沿岸工程修建改变水流方向形成原始沟槽,后经潮汐作用逐渐改造而成。而由于潮滩面积小,起伏不大,潮流能量小,涨落形式为往复流,因此,主潮沟基本无侧向迁移。滩面上细小潮沟迁移比较明显,表现在同一采样位置的沉积物粒径随时间不同而有所变化。由于采样时间间隔为半月,受其所限只能提取潮汐月周期的信息,但可推测其涨落潮周期、大小潮周期必定更加明显,沉积物粒度及厚度受其影响会有相应的规律性变化。由沉积物粒度—标准偏差曲线可以看出,其 3 个峰值 68.2、278.5 和 489.1 μm 处标准偏差大,说明该粒径附近的颗粒易受水动力影响而被搬运或沉积,因此,潮沟形态的改变受多种水动力的影响,并且与上述粒级的颗粒的关系更为密切。

4.3 沉积物冲淤变化及影响因素

据国家海洋局第一海洋研究所所测数据,唐岛湾海域沉积物以黏土质粉砂为主,唐岛湾东部水域靠近海岸线处沉积物以砂为主,往海域方向渐变到粉砂质砂、黏土质砂,其间偶尔出现少量砾砂;而牛岛西部沉积物以粉砂质砂为主,向海方向渐变为黏土质粉砂^[15]。

本湾泥沙来源不多,每年在 $(1.09 \sim 2.18) \times 10^4$ t 左右,即 $(0.72 \sim 1.445) \times 10^4$ m^3/a ,若平均沉积在海湾内的话,则沉积速率为 $0.042 \sim 0.085$ cm/a ^[27]。唐岛湾在 10 ka 的全新世海侵中形成,至 8 ka 左右为滨海相沉积^[28],之后开始沉积浅海

相地层,其沉积厚度一般在 3.0~10.0 m 之间^[15],则据此推断其地质历史时期沉积速率为 $0.0375 \sim 0.125$ cm/a 。而对比 2003—2014 年海底冲淤变化情况,分析唐岛湾内近岸潮滩区有所淤积,大部分潮滩淤高不超过 0.5 m,牛岛北侧局部潮滩区淤高 0.5~1.0 m,按平均计,则牛岛北侧潮滩区淤积强度为 $5 \sim 10$ cm/a ,远大于估计的沉积速率。其淤积速率较大的原因可能是潮流携带海岸侵蚀来沙以及波浪扰动的泥沙在牛岛至湾顶沉积,尤其在靠近牛岛北侧潮滩区,低潮位时潮汐通道中涨潮流携带的泥沙在绕过牛岛后,由于流速迅速降低而导致泥沙沉积;而随着潮位上涨,牛岛两侧都有涨潮流通过,在牛岛西北侧及北侧潮流交汇而使得泥沙沉降。因此,牛岛北侧的淤积最为严重,若不注意清淤保护,则有发展成为连岛沙坝的可能。而在湾顶可见排水管道,人类的大量生活用水通过排水管道以及河流进入湾内,可以促进细粒沉积物发生絮凝,也对此较高的沉积速率有所影响。

5 结论

唐岛湾潮间带沉积物粒度特征及水动力分析结果如下:

(1)沉积物以粉砂质砂为主,粒径变化较大,分选较差,偏度为正偏,峰态为宽峰态。利用粒度—标准偏差曲线研究现代沉积可划分出 3 个敏感组分,结合研究区水动力条件分析认为, <158.6 μm 的粒径组分受潮流作用较为显著, $158.6 \sim 369.1$ μm 和 >369.1 μm 的粒径组分分

别受波浪作用和风暴浪等强水动力的影响更为显著。

(2)通过沉积物粒径 $<158.6\ \mu\text{m}$ 组分的平均粒径提取的潮汐作用的周期性信息最为明显,表明本区潮坪沉积物细粒部分受潮流影响显著。而潮沟的变化可能与敏感曲线峰值粒径附近的颗粒的搬运沉积关系密切。

(3)波浪、潮流等水动力则对河流搬运的陆源碎屑及海岸侵蚀沉积物的分布有极大影响,近十年来,已疏浚区的实际淤积速率远高于估计值,尤其是牛岛北侧淤积严重,若不及时疏浚将严重影响唐岛湾的捕捞业及景观效果,在海岸带保护进程中,应更加重视人为因素的影响。

致谢:对青岛海洋工程勘察设计研究院所做的工作以及中国石油大学(华东)徐方建副教授在撰写过程中给予的帮助表示衷心的感谢!

参考文献:

- [1] 王颖,朱大奎. 中国的潮滩[J]. 第四纪研究, 1990(4): 291-300.
- [2] Visher G S. Grain size distributions and depositional processes[J]. Journal of Sedimentary Research, 1969, 39(3): 1074-1106.
- [3] 陈沈良,杨世伦,吴瑞明. 杭州湾北岸潮滩沉积物粒度的时间变化及其沉积动力学意义[J]. 海洋科学进展, 2004, 22(3): 299-305.
- [4] Syvitski J P M. Factor analysis of size frequency distributions: significance of factor solutions based on simulation experiments[M]// Syvitski J P. Principles, Methods and Application of Particle Size Analysis. 1991: 249-263.
- [5] Prins M A, Postma G, Weltje G J. Controls on the terrigenous sediment supply to the Arabian Sea during the late Quaternary: The Makran continental slope [J]. Marine Geology, 2000, 169(3/4): 351-371.
- [6] 操应长,王健,刘惠民. 利用环境敏感粒度组分分析滩坝砂体水动力学机制的初步探讨——以东营凹陷西部沙四上滩坝砂体沉积为例[J]. 沉积学报, 2010(2): 274-284.
- [7] Sun D H, Bloemendal J, Rea D K, et al. Grain-size distribution function of polymodal sediments in hydraulic and aeolian environments, and numerical partitioning of the sedimentary components[J]. Sedimentary Geology, 2002, 152(3/4): 163-277.
- [8] 肖尚斌,李安春. 东海内陆架泥区沉积物的环境敏感粒度组分[J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 122-129.
- [9] 孙有斌,高抒,李军. 边缘海陆源物质中环境敏感粒度组分的初步分析[J]. 科学通报, 2003, 48(1): 83-86.
- [10] 李乃胜,于洪军,赵松龄,等. 胶州湾自然环境与地质演化[M]. 北京:海洋出版社, 2006: 1-282.
- [11] 徐方建,赵永芳,李传顺,等. 青岛市灵山湾海水浴场沉积物分布特征与影响因素[J]. 海洋通报, 2014, 33(2): 157-162.
- [12] 张雪松,梁丙臣,徐照妍. 半封闭狭长型淤泥质海湾的冲淤演变数值分析[C]//第十三届全国水动力学学术会议暨第二十六届全国水动力学研讨会文集: G 海岸环境与地球物理流体力学. 2014.
- [13] 中国海湾志编委会. 中国海湾志(第四分册): 山东半岛南部和江苏省海湾[M]. 北京:海洋出版社, 1993: 157-278.
- [14] 王伟,张屯嘴—丁家嘴沿岸现代沉积和水动力研究[J]. 海洋地质动态, 2010, 26(2): 25-31.
- [15] 青岛海洋工程勘察设计院. 青岛经济开发区唐岛湾清淤工程勘察测绘成果报告[R]. 青岛:青岛海洋工程勘察设计院, 2014.
- [16] 赵迎春,刘晓丹,宋涅. 唐岛湾水动力环境影响预测模拟[J]. 海洋开发与管理, 2014(3): 113-116.
- [17] McManus J. Grain size determination and interpretation [M]//Tucher M. Techniques in Sedimentology. Oxford: Wiley-Blackwell, 1988: 63-85.
- [18] 贾建军,高抒,薛允传. 图解法与矩法沉积物粒度参数的对比[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(6): 577-582.
- [19] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京:石油工业出版社, 2003: 79-84.
- [20] 刘旭英,高建华,白凤龙,等. 苏北新洋港潮滩柱状沉积物粒度分布特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(4): 27-35.
- [21] 张存勇,冯秀丽. 连云港近岸海域沉积物粒度空间分布特征及其分析[J]. 海洋学报, 2009, 31(4): 120-127.
- [22] 张存勇,冯秀丽. 连云港近岸海域悬沙浓度垂向时空变化特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(2): 49-57.
- [23] 龚小辉,柏春广,王建. 淤泥质潮滩沉积周期性研究综述[J]. 南京师大学报:自然科学版, 2012, 35(1): 117-121.
- [24] Williams G E. Late Precambrian tidal rhythmites in South Australia and the history of the Earth's rotation[J]. Journal of the Geological Society, 1989, 146(1): 97-111.
- [25] Cowan E A, Cai J, Powell R D, et al. Modern tidal rhythmites deposited in a deep-water estuary[J]. Geo-Marine Letters, 1998, 18(1): 40-48.
- [26] 邵虚生. 潮沟成因类型及其影响因素的探讨[J]. 地理学报, 1988, 43(1): 35-43.
- [27] 中国海洋大学. 青岛市唐岛湾航道疏浚项目数值模拟报告[R]. 青岛:中国海洋大学, 2014.
- [28] 罗勤民,秦永鹏,贾珍臻. 青岛唐岛湾的形成机制与海岸演化[J]. 高校地质学报, 2011, 17(4): 620-627.

GRAIN SIZE OF INTERTIDAL DEPOSITS IN TANGDAO BAY OF QINGDAO AND ITS HYDRODYNAMIC SIGNIFICANCE

LIANG Wendong, ZHOU Yaoqi, SUN Qi, YUE Huiwen, ZHANG Zhenkai

(School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China)

Abstract: The Tangdao Bay is a narrow and semi-enclosed one with complex hydrodynamic conditions. Samples were collected in the intertidal zone at fixed sites and times. We discussed the depositional characteristics and hydrodynamic conditions of the sediments in this paper based on grain size data. The sediments in this area are mainly composed of silty sand with poor sorting, positive skewness and wide kurtosis. Probability cumulative curves show that the deposits are dominated by the type of sediments with two saltation peaks and one suspension peak. Combined with the grain size-standard deviation curves, it is concluded that the environmentally sensitive grain-size components $<158.6 \mu\text{m}$ are basically influenced by tidal currents, whereas the sediments between $158.6 \sim 369.1 \mu\text{m}$ and $>369.1 \mu\text{m}$ respectively are contributed by waves and storm waves. By the study of the components $<158.6 \mu\text{m}$, the monthly tidal cyclicity can be easily recognized. Finally, it is carried out the study of the deposition of tidal deposits, changes in tidal creek and erosion and/or siltation of the tidal deposits of the research area, so as to better understand the hydrodynamic conditions in a semi-enclosed and narrow bay as such and the protection of coastal zones.

Key words: grain size parameters; environmentally sensitive grain-size components; wave action; tidal current

关于作者著作权及稿酬的声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意上述声明。

《海洋地质前沿》编辑部

2013 年 1 月 10 日