东山乌礁湾海滩表层沉积物粒度时空变化分析

周在明,杨燕明,陈本清

(国家海洋局 第三海洋研究所, 福建 厦门 361005)

摘要:为了进一步了解海岛岬湾海岸表层沉积物粒度的时空分布特征和形成机制,作者以福建东山岛 乌礁湾为典型研究区,通过秋、春、夏3个不同季节海滩表层沉积物的采集和点位测量,综合应用激 光法和筛析法进行粒度测定。结果表明,东山乌礁湾海滩表层沉积物以0.16~0.50 mm 之间的中、细砂 为主,并含有少量的粗砂和细砾,这与区域砂质沉积背景有关;湾内从南到北剖面沉积物粒径由粗砂 到细砂逐渐变细,主要受剖面地形、局地物源、季节性风浪作用和近岸往复水动力的影响。时间变化 上,各取样站位表现出沉积物粒径粗、细不同程度的多种变化趋势,以秋季为参考,整体上表现为由南 到北粒级的变小、增大和稳定,这与东北、南南西季风影响下的浪、潮作用以及沿岸流系格局变化下 的水动力环境有关。

关键词: 乌礁湾; 表层沉积物; 时空变化; 粒度参数; 频率曲线 中图分类号: P736.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)10-0082-09 doi: 10.11759//hykx20150313001

粒度作为沉积物的基本性质之一, 是沉积物物 质来源和沉积环境的重要指标,其组成与相关粒度 参数也是识别沉积环境类型、推断沉积物扩散搬运 过程的常用手段,同时粒度分布状况能够反映沉积 区的地形和水动力条件。学者们在粒度特征方面进 行了较为广泛的研究、从区域到方法都有丰富的理 论成果积累、渤海、黄海、东海、南海的诸多研究是 认识中国各海区表层沉积物粒度分布规律特征的重 要依据^[1-4];聚类分析、因子分析、端元分析、地统 计分析等诸多方法的应用是深入剖析粒度成因环境 与机制的重要手段^[5-7]。近年来中国近海海洋综合调 查与评价专项("908 专项")更是在较大空间尺度上 对中国近海底质沉积物和浅地层剖面较为全面的总 结^[8]、然而在众多的公开资料中对东山乌礁湾的粒 度报道还不多见。作者通过东山乌礁湾表层沉积物 秋、春、夏不同季节的取样分析揭示其时空变化下 的粒度特征、为进一步认识乌礁湾海滩粒度空间分 布特征和形成机制提供一定的参考、为海洋环境评 价和综合管理提供一定的基础支撑。

- 1 材料与方法
- 1.1 研究区概况

东山岛是福建省第二大岛,位于福建省最南端, 东邻台湾海峡,南濒南海,西接诏安湾,北望云霄县, 由一系列东北方向分布的岛屿通过连岛沙坝相互连 接组成,是中国较为典型的岛连岛地貌体。位于东山 岛东南的乌礁湾为低山滨海地貌,地势平坦开阔,呈 弯月形。乌礁湾水动力主要为潮汐和波浪,潮汐类型 为不正规半日潮,多年平均潮差约 2.3 m,涨潮流为 东北向,落潮流为东南向,平均潮流速度约 1.0 m/s, 且落潮流速大于涨潮流速,海域波浪以风浪为主。气 候类型属于亚热带海洋性季风气候,年平均气温 20.8℃,多年平均降雨 1 224 mm。

1.2 数据来源与分析

以研究区海滩沉积物的代表性为基本原则, 按垂 直岸线的方式布设测量剖面与取样站位(图 1), 剖面间 隔约 1 200 m 共 5 条, 按不同季节进行重复取样。重复 取样站位号分别是, 剖面 1 中 2、4、5、7、9 号站位; 剖 面 2、3、5 中 1~5 号站位; 剖面 4 中 2~6 号站位; 共采 集海滩表层 0~5 cm 沉积物样品 79 个(表 1)。剖面测量与 取样时间分别为 2013 年 10 月(秋季)、2014 年 2 月(春 季)和 2014 年 7 月(夏季)。取样站位布设在离岸 20~ 180 m 的潮间带高潮、中潮和低潮区, 取样同时进行

收稿日期: 2015-03-13; 修回日期: 2015-06-13

基金项目:海洋公益性行业科研专项经费资助(201005010)

[[]Foundation: Public Science and Technology Research Funds Projects of Ocean, No. 201005010]

作者简介:周在明(1980-),男,山东淄博人,博士,助理研究员,主要从事近岸海洋环境研究,E-amil:tougaozhou@163.com



图 1 研究区与采样剖面示意图 Fig. 1 Study area and sampling profile locations

表 1	东山乌礁湾表层沉积物取样站位对照表
Tab. 1	Sampling stations in the Wuijao Bay

刘石	取样站位(个)					
שונם	2013 秋	2014 春	2014 夏	合计		
1	9	5	5	19		
2	5	5	5	15		
3	5	5	5	15		
4	6	4	5	15		
5	5	5	5	15		

粒度分析按海洋地质地球物理调查规范进行, 取适量样品先后用质量百分浓度为 30%的 H₂O₂ 和体 积摩尔浓度为 0.25 mol/L 的 HCl 溶液去除有机质和碳 酸盐,再用蒸馏水清洗至样品烧杯液体呈中性,加少 量 NaPO₃,经超声充分分散后,用 Mastersizer2000 激 光粒度分析仪(测量范围 0.02~2000 μm)进行沉积物 粒度测量,仪器测量范围之外的粒子采用筛析法。粒 度参数计算参考福克-沃德(Folk-Ward)计算公式,粒 级标准采用尤登-温德华氏标准,沉积物的分类和命 名参考海洋底质调查技术规程^[9-10]。

2 结果与分析

2.1 空间分布特征

根据 2013~2014 年 3 个不同季节的样品测试结

果,得到沉积物类型统计表(表 2)。由表 2 可见,研 究区海滩以粒径为 0.16~0.50 mm 的砂为主,粒径为 2~4 mm 的细砾组分次之,较小粒径的粉砂和黏土含 量几乎为零,三者的体积百分含量平均值分别为 98.07%、1.92%和 0.01%,从极值和平均值看砂质粒 径占绝对优势,这是砂质海滩的基本表征。东山乌礁 湾粒级符合中国华南沿海砂质海滩表层沉积物粒径 分布规律^[11],以 0.22~0.80 mm 之间的细、中砂和粗 砂分布为主,而与中国北方渤海湾和黄海沿岸砂质 海滩表层沉积物以细砂和砂质粉砂为主要组分相比, 东山乌礁湾表层沉积物粒级相对较大,这与物源和 水动力环境的差异有关^[1,12-13]。

根据地质统计学相关理论^[14], 变异系数 *CV* 值 反映样点的离散程度, 根据其值划分不同的变异性 强度, *CV*<0.1为弱变异性; 0.1≤*CV*≤1为中等变异性; *CV*>*I* 为强变异性。由表 2 可见, 东山乌礁湾表层 沉积物各粒径组分中砂的空间变异性较弱, 属于 弱变异强度; 粉砂属于中等变异强度; 砾属于强 变异强度。变异性强弱表明研究区表层沉积物不同 粒径组分砾、砂和粉砂的空间分布差异性显著, 0.16~0.5 mm 的砂质粒径分布相对均一, 离散性小, 是构成乌礁湾表层沉积物的主要粒径成分, 而砾石 和粉砂在该区域内的分布变化较大, 具有较强的空 间离散性,这与东山岛以东近岸海域是以中、细砂 底质为主的区域砂质海岸地貌有关^[15],在大的区域 背景环境中与整个东海陆架是以细砂为主的沉积 物分布类型相一致^[8]。

表 2 乌礁湾表层沉积物粒径类型描述性统计 Tab 2 Descriptive statistics of surface sediment components

类型	样点数(个)	最小值(%)	最大值(%)	平均值(%)	标准差	变异系数 CV	
砾(2~4 mm)	79	0.00	51.34	1.92	6.63	3.45	
砂(0.16~0.50 mm)	79	48.66	100.00	98.07	6.63	0.07	
粉砂(0.004~0.063 mm)	79	0.00	0.07	0.01	0.01	1.00	

研究区 5 条剖面 79 个表层沉积物样品共分为砂 质砾石(SG)、粗砂(CS)、中粗砂(MCS)、粗中砂(CMS)、 中砂(MS)、砂(S)、细中砂(FMS)、中细砂(MFS)、细 砂(FS)9 类,在各剖面线上表现出不同分布类型(图 2)。对图 2 中的沉积物类型进行统计可见,东山乌礁 湾表层沉积物以中细砂为主,占沉积物样品总数的 42%;其次是细中砂,占样品总数的 18%;再者是细 砂,占样品总数的 11%;而砂粒以上组分分别各占 样品数的 1%~8%。整体看,东山乌礁湾表层沉积物 涵盖砾、砂多种分级,但以细中砂、中细砂和细砂为 主,这进一步表明了东山岛以东近岸海滩是一套分 选性较好的细砂为主且局部含有砾石的沉积物^[16]。



图 2 乌礁湾各剖面表层沉积物类型 Fig. 2 Surface sediment types in the Wujiao Bay profiles

在空间分布上,位于乌礁湾南端的剖面 1,表层 沉积物粗、细交替变化,多种粒级均有出现,潮间带 的中低潮区以粗砂为主,占该剖面样品数的 32%, 细中砂主要分布在高潮区,占 21%。剖面 2 以细中砂 为主,占 53%,粗砂和粗中砂仅占 7%。剖面 3 以细 中砂至细砂组分为主,占 84%。剖面 4 主要有中细砂 和细砂组成,分别占 87%和 13%。最北端的剖面 5, 中细砂和细砂分别占 60%和 33%, 细砂显著增多。应 用 ArcGIS 空间分析功能绘制该区海滩表层沉积物粒 级空间分布图(图 3), 由图 3 可见, 空间上乌礁湾海 滩表层沉积物主要由粗砂至细砂之间的不同等级粒 径组分组成, 由南端剖面 1 至北端剖面 5 的粒径逐渐 变细, 沉积物粒级由粗砂逐渐过渡到细中砂、中细砂 和细砂。

2.2 时间变化特征

通过对 2013~2014 年秋、春、夏不同季节的同 名站位进行取样分析获取各粒度参数和其平均值, 平均粒径均值(Mz、Mz)、分选系数与均值(σi 、 σi)、 偏度与均值(*Ski*、*Ski*)和峰度与均值(*Kg*、*Kg*)(表 3)。 由表3可以看出、较之2013年10月秋季的粒径组分、 剖面 1 在春季表现出粒径的减小, 而夏季表现出粒 径的增大并与秋季相似、Mz 和 Mz 值秋季为–1.29 Φ ~ 1.590、0.260、春季 0.120~1.73 0、1.240、夏季 0.09Φ~1.67Φ、0.41Φ; 剖面 2 秋、春季粒径一致, Mz 值为 0.35Φ~2.04 Φ 和 0.77 Φ~2.03 Φ, 夏季粒径增大, Mz 值为 0.880~1.230, 以粗、中砂为主; 剖面 3~5 秋、春、夏3季粒径组分较为稳定,粒径集中在中、 细砂区, 尤以剖面 5 的粒径组分变化最小, 以细砂分 布为主, Mz 值为 2.12 Φ~2.49 Φ。从分选系数看, 各 剖面在不同季节的分选性变化不大、其中以剖面 $3\sim5$ 的分选性较好, $\overline{\sigma i}$ 值为 0.46~0.70。从偏度和峰 度看、各剖面粒径在秋、春、夏不同季节均呈现出近 似正态的窄峰分布特征。

以秋季站位粒径组分为参考,通过粒径频率曲 线进行粒径季节变化的对比分析(图 4),可见,不同 站位在不同季节表现出粒度级别不尽相同的变化规 律分别是:较之秋季粒径组分,春、夏粒径变细(图 4a);秋、春粒径一致,夏季粒径变粗(图 4b);春、夏 季节粒径变粗(图 4c);秋、夏季节粒径一致,春季粒 径较粗(图 4d);秋、夏季节粒径一致,春季粒径较细



图 3 乌礁湾表层沉积物类型空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of surface sediment types in the Wujiao Bay

表 3 乌礁湾表层沉积物参数季节变化

Tab. 3 Seasonal variation in surface sediment parameters in the Wujiao Bay

剖面	时间	$Mz(\Phi)$	$\overline{Mz}\left(\Phi ight)$	σί	$\overline{\sigma i}$	SKi	<u>SKi</u>	Kg	\overline{Kg}
1	秋	-1.29~1.59	0.26	0.49~1.16	0.81	-0.30~0.31	-0.02	0.73~1.54	1.08
	春	0.12~1.73	1.24	0.41~1.32	0.71	-0.01~0.33	0.07	0.91~0.96	0.93
	夏	0.09~1.67	0.41	$0.47 \sim 0.80$	0.66	-0.17~0.16	0.01	0.84~1.45	1.04
	秋	0.35~2.04	1.45	0.46~1.16	0.66	-0.02~0.34	0.08	0.91~0.96	0.93
2	春	0.77~2.03	1.53	0.40~1.15	0.58	$-0.44 \sim 0.01$	-0.09	0.94~1.06	0.98
	夏	0.88~1.23	1.10	0.60~1.16	0.94	-0.41~-0.03	-0.25	0.70~1.59	1.04
	秋	1.10~2.41	1.85	0.44~1.01	0.67	-0.04~0.03	-0.03	0.78~0.97	0.92
3	春	1.19~2.16	1.79	0.51~0.78	0.70	$-0.31 \sim 0.02$	-0.05	0.92~0.95	0.88
	夏	1.99~2.22	2.14	0.41~0.52	0.47	$-0.01 \sim 0.01$	0.00	0.95~0.96	0.95
	秋	1.98~2.41	2.22	0.43~0.89	0.61	-0.35~0.01	-0.14	0.95~1.62	1.29
4	春	2.20~2.28	2.26	0.44~0.51	0.48	$-0.01 \sim 0.00$	0.00	0.94~0.95	0.95
	夏	1.36~2.36	2.12	0.41~0.52	0.67	$-0.51 \sim -0.01$	-0.11	0.93~0.96	0.95
	秋	2.32~2.44	2.37	0.43~0.51	0.46	$-0.07 \sim 0.02$	-0.01	0.94~0.99	0.96
5	春	2.12~2.41	2.26	0.41~0.69	0.54	$-0.25 \sim 0.00$	-0.06	0.95~1.11	0.99
	夏	2.38~2.49	2.42	0.42~0.54	0.48	-0.03~-0.01	-0.02	0.96~0.97	0.96

(图 4e);和秋、春、夏三季粒径一致(图 4f)等 6 种变 化方式。这也反映了沉积物在秋、春、夏不同季节 时空变化过程中存在的不同输运形式和沉降过程。

各剖面的具体表现为, 剖面1所选的5个站位中 2 号站位粒径组分较为稳定, 以中、细砂为主; 4 号站 位粒径组分逐渐变细; 5 号站位秋、夏季节较为一致, 春季粗砂含量增多; 7、9 号站位秋、夏一致, 春季 1.5~2.0 mm之间的粗砂组分减少。剖面2中1、2、4 号站位秋、春季节相似,夏季变粗,其中1.0~1.5 mm 之间的极粗砂粒径组分增多。3 号站位秋、夏季节粒 度分布相似而春季大于1.0 mm的粗粒成分明显减少; 5 号站位则表现出春、夏极粗砂粒组分较之秋季增多 的特征。剖面3中1、3、4 号站位秋、春、夏不同 季节的粒度分布较为一致, 以细砂和中砂为主, 2 号 站位的春、夏季节粒度分布相似,较之秋季则粗粒组 分显著减少,中、细砂含量增多。5号站位秋、夏细 粒组分集中,春季粗粒含量增多。剖面4中2、3、6 号站位秋、春、夏粒径分布一致,以细砂和中砂为主, 4号站位则表现出春、夏粒径组分相似,秋季粗粒含 量较多的特点。5号站位秋、夏粒级组成相似,有少 量的细砾出现,而春季细、中砂组分居多。剖面5中 1号站位秋、夏季节粒径组分较为一致,春季粗粒含 量增多,以0.50~2.0 mm的粗砂和极粗砂粒级组分增 加明显。2~5号站位秋、春、夏的粒径组分一致,以 细砂和中砂为主。

3 讨论

海洋沉积物的粒度特征受沉积物物源、沉积区





水动力条件以及地形地貌等多种因素的制约^[1]。乌礁 湾海滩表层沉积物粒度特征的空间分布和季节性变 化差异表现出海岸动力条件的季节性变化,也反映 了海滩各局部岸段因平面位置和地形掩护条件的差 异而处于不尽相同的水动力条件下,且物源上所受 的影响也会有一定的差别。

3.1 岸线轮廓和物源影响

岸线轮廓和物源特点是影响沉积物粒径特征变 化的重要因素^[17]。岸线轮廓会对海域波能产生显著 的作用、是影响波能强弱的重要因素。东山乌礁湾为 岬湾海岸,海滩在基岩岬角之间开敞于海湾内,受 波浪的作用海滩成弧形结构、岬湾海岸的主要物质 来源为海岸侵蚀供沙、砂质海岸遭受近岸海洋动力 的侵蚀并向海湾供沙,其动力沉积系统相对独立。根 据实地调查乌礁湾海滩上部发育有不同程度大小的 侵蚀陡坎, 剖面上部陡下部缓, 整体下凹呈侵蚀状 态。秋、春、夏不同季节的 GPS 测量结果发现,研 究区海滩相对高差在 2.5~4.1 m(图 5), 与东山海洋站 累年平均潮差2.1 m和最大潮差4.1 m一致(累年最大 潮位 4.46 m 和最低潮位-0.35 m)。由图 5 可见, 经过 不同季节的水动力变化过程、海滩剖面经历侵蚀、淤 涨等不同程度的改变,其中剖面1和剖面2春、夏季 节表现出较为明显的下蚀。由 2013 年 10 月秋季到 2014年7月夏季剖面1的平均下蚀高度约为0.29m, 剖面 2 的平均下蚀高度约为 0.70 m。剖面 3、4 则表 现出先淤涨后下蚀的特征,其剖面高程平均变化值 约为 0.25 m。剖面 5 表现出小幅度的堆积淤涨现象, 其值约为 0.20 m。因此乌礁湾剖面表现出, 剖面 1 和剖面 2 下蚀, 剖面 3 和剖面 4 先淤涨升高后下蚀变 低, 剖面 5 淤涨升高。整体看海滩剖面的整体走势未 变,研究区海滩剖面中 1~4 下凹侵蚀现象明显, 而位 于研究区最北部岸段的剖面 5 滩面近似呈直线倾斜 向侵蚀状海滩转变。

海滩后滨高度与沉积物粒度的相关性分析表明 滩面颗粒粒径与后滨高度具有较好的同向性,随着 后滨高度的增加,颗粒物粒径逐渐增加^[18]。这与乌礁 湾自南向北剖面(1~5)的后滨高度降低,沉积物粒径 逐渐变小的规律较为一致。从局地地形看研究区南 岸剖面 1 受大肉山基岩的掩护,北岸剖面 5 受亲营 山、苏峰山岬角以及近岸构筑物的掩护,中间剖面 2~4 位于弧形海湾凹入处,岸线内有众多大小不等 的排水口,其中剖面 2 和剖面 3 位于排水口沿线(图 1),剖面 2 处为滨海公路下的泄洪涵洞,挟带岸上剥 蚀碎屑物质入海,尤其是夏季台风暴雨多发季节会 有较多碎屑物质进入海滩,因此剖面 2 更多地得到 岸上侵蚀物质的冲刷供给,沉积物粒径总体较粗, 在季节变化过程中剖面 2 夏季表现出较之秋、春季 节粒径变粗。与剖面 2 的排水口不同的是剖面 3 上





游为养殖排水区,水流较小,因此剖面3受到的冲刷 作用较弱,沉积物物源变化较小,粒级较细,季节变 化上剖面3沉积物粒径相对稳定。因此岸线轮廓形 状是沉积物不同粒度形成与分布的重要基础条件, 而局地物源的输入进一步影响了有限范围内的沉积 物再分配过程。

3.2 外动力条件影响

波浪、潮汐、径流和风等外动力条件是塑造海 岸地貌的重要因素,其中波浪向岸传播引起的质量 输送流、破碎波产生的沿岸流以及海岸水体堆积引 起的离岸流等近岸流系对砂质岸滩的形成和发育是 最活跃的动力因素^[19-20]。

该区水动力以波浪能为主,其次受潮汐的影响, 形成研究区近岸水域水动力波浪和潮汐流的共同作 用机制,这与华南砂质海岸形成的主要外动力条件 相符合^[18-19]。

东山乌礁湾波浪以风浪为主混合有涌浪的作用, 盛行风向从海上吹来,根据国家海洋局东海预报中 心资料显示,东山岛常风向为东北,其频率约为 26%,其次是东北东向,频率为 22%,强风向为东北 至东北东向,最大风速为 40 m/s,年内除夏季(6~8 月) 以南南西风为主,其余季节均以东北向为主,尤以 秋季风速较大,平均值为 8 m/s。采样季节主导风向 为东北和南南西,因此在东北浪向盛行的秋、春季节, 波浪绕过北部亲营山、苏峰山岬角,波向线与本区岸 线斜交,乌礁湾北段岸线剖面 3-4-5 波浪能主要释放 于驱动沿岸流,而随着海湾岸线的转折,南端岸向 线与波向线的交角变大,加之该区涨潮流为东北方 向,从而在波浪能的驱动下对南端岸线沉积物进行 簸选改造,尤其是靠近大肉山岬角的部分,波浪与 潮汐作用加大,动能变强,沉积物簸选强烈,从而使 得南端剖面 1 表层沉积物中粗粒组分含量高,且分 选性较好。而夏季南南西风向盛行,波浪离岸传输, 对沉积物的簸选作用减弱。

此外,流系格局对于海洋沉积物的搬运和沉积 也起着十分重要的作用,影响着沉积物的空间分布 及其沉积模式。研究区季节性强劲东北季风作用下 的浙闽南下沿岸流对区域水动力环境会造成一定程 度的影响,然而浙闽沿岸流在该区域并不是终年存 在,它的出现时间具有明显的季风性。总体来说,浙 闽沿岸流存在于冬半年,10 月随着东北季风的增强 而出现;翌年6月,随着东北季风的衰减而消失。研 究表明东山海域的悬浮泥沙主要来自浙闽沿岸流的 输入^[15],因此浙闽沿岸流也可能是影响沉积物搬运 与沉积的一个不容忽视的因素^[21-22]。

就潮间带而言,由于水深向岸变浅造成的非线 性地形效应和底部摩擦力变化的影响使得剖面内部 近岸水流往复运动过程中水动力作用具有强弱差异 性,其横向分选作用改变,已有研究表明近岸水深 较浅的海滩区域水动力状况较为复杂^[23],加之不同 季节侵蚀、淤涨造成的剖面地形坡度改变(图 5),其 共同作用造成了沿程粒度季节分布的变化。另一方 面可能是由于生物碎屑的混入,会改变局地沉积物 的粒度组成与分布,因而生物碎屑也可能是造成这 一区域粒度差异的原因^[6,15]。此外,对于表层沉积物 而言即使同一类型沉积物因时间和空间上的不同其 粒度分布曲线峰的位置也不尽完全相同,这也造成 了沉积物粒度分布上的微小差异性。

4 结论

东山乌礁湾表层沉积物由粗砂至细砂之间的不 同等级粒径组分组成,在分布空间上由南端剖 1 至 北端剖面 5 粒径逐渐变细,沉积物粒级由粗砂逐渐 过渡到中细砂和细砂。

在时间变化上, 东山乌礁湾各取样站位在不同 季节表现出粒度不尽相同的变化规律, 春季粒径变 粗或细、夏季粒径变粗、春与夏粒径同时变粗或细、 以及 3 季粒径一致等。整体上剖面 1 春季粗砂组分 减少表现出粒径减小; 剖面 2 夏季粒径增大, 以中、 粗砂为主; 剖面 3~5 秋、春、夏 3 季粒径较为稳定, 集 中在中、细砂区。

东山乌礁湾近岸海洋动力侵蚀供沙是其主要的 沉积物质来源,山体基岩、地形轮廓、泄洪和养殖排 水等进一步影响了沉积物的再分配,使得研究区呈 现南北岸段粒度特征的分异和粒度的沿程变化。湾 内水动力以风浪为主,秋、春季节东北浪向盛行,夏 季为南南西向,形成对沉积物的簸选作用的季节性 改变,加之浙闽沿岸流系格局的变化引起的水动力 环境的改变影响,研究区海滩沉积物出现季节性的 复杂变化。

参考文献:

- 徐东浩,李军,赵京涛,等.辽东湾表层沉积物粒度 分布特征及其地质意义[J].海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(5): 35-42.
 Xu Donghao, Li Jun, Zhao Jingtao, et al. Gain-size distribution of surface sediments of the Liaodong Bay, Bohai and sedimentary environment restoration[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2012, 32(5): 35-42.
- [2] 范恩梅,陈沈良,张国安.连云港近岸海域沉积物特 征与沉积环境[J].海洋地质与第四纪地质,2009, 29(2):33-40.

Fan Enmei, Chen Shenliang, Zhang Guoan. Sediment characteristics and sedimentary environment in Lianyungang coastal waters[J]. Arine Geology & Quaternary Geology, 2009, 29(2): 33-40.

- [3] 田姗姗,张富元,阎丽妮,等.东海西南陆架表层沉积物粒度分布特征[J].海洋地质与第四纪地质,2009,29(5):13-20.
 Tian Shanshan, Zhang Fuyuan, Yan Lini, et al. Distribution characteristics of granularities of surface sediments in the southwestern shelf of the East China Sea[J].
 Marine Geology & Quaternary Geology, 2009, 29(5):13-20.
- [4] 王敏京,徐军,冉娟,等. 海南岛西南部砂质岸滩沉 积特征[J]. 海洋通报, 2011, 30(1): 60-64.
 Wang Minjing, Xu Jun, Ran Juan, et al. Sediment characteristics of southwest beach of Hainan Island[J].
 Marine Science Bulletin, 2011, 30(1): 60-64.
- [5] 方建勇,陈坚,王爱军,等.台湾海峡表层沉积物的 粒度和碎屑物分布特征[J].海洋学报,2012,34(5): 91-99.
 Fang Jianyong, Chen Jian, Wang Aijun, et al. The distribution characteristics of grain size and mineral of surface sediment in the Taiwan Strait[J]. Acta Oceanologica
- Sinica, 2012, 34(5): 91-99.
 [6] 张晓东,翟世奎,许淑梅. 端元分析模型在长江口邻 近海域沉积物粒度数据反演方面的应用[J]. 海洋学 报, 2006, 28(4): 159-166.
 Zhang Xiaodong, Zai Shikui, Xu Shumei. The application of grain size endmember modeling to the shelf near the estuary of Changjiang River in China[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2006, 28(4): 159-166.
- [7] 刘付程,张存勇,彭俊. 海州湾表层沉积物粒度的空间变异特征[J]. 海洋科学,2010,34(7):54-58.
 Liu Fucheng, Zhang Cunyong, Peng Jun. Characteristics of spatial variability of sediment grain size in the Haizhou Bay[J]. Marine Sciences, 2010, 34(7): 54-58.
- [8] 石学法. 中国近海海洋—海洋底质[M]. 北京: 海洋 出版社, 2012.
 Shi Xuefa. Marine sediments[M]. Beijing: Ocean Press, 2012.
- [9] Folk R L, Ward W C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1957, 27: 3-26.
- [10] 国家海洋局 908 专项办公室. 海洋底质调查技术规程[S]. 北京: 海洋出版社, 2006.
 908 special project office of State Oceanic Administration. Investigation technical specification of marine sediment[S]. Beijing: Ocean Press, 2006.
- [11] 曹惠美, 蔡锋, 苏贤泽. 华南沿海若干砂质海滩沉积 物粒度特征的分析[J]. 海洋通报, 2005, 24(4): 36-45.
 Cao Huimei, Cai Feng, Su Xianze. Analysis on grain

size characteristics of sediments on some sandy beaches along the coast in South China[J]. Marine Science Bulletin, 2005, 24(4): 36-45.

- [12] 王刚,马启敏.山东龙口港口区表层沉积物的粒度分析[J].海岸工程,2009,28(3):12-19.
 Wang Gang, Ma Qimin. Grain size analysis of surface sediments from Longkou Harbour area in Shandong[J]. Coastal Engineering, 2009, 28(3): 12-19.
- [13] 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]. Oceanlologia Et Limnologia Sinica, 2009, 40(5): 525-531.

- [14] 侯景儒,尹镇南,李维明. 实用地质统计学[M]. 北京:地质出版社,1998.
 Hou Jingru, Yin Zhennan, Li Weiming. Practical geostatistics[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998.
- [15] 杨顺良,骆惠中,梁红星. 东山岛以东近岸海域水下 沙丘及其环境[J]. 台湾海峡, 1996, 15(4): 324-330.
 Yang Shunliang, Luo Huizhong, Liang Hongxing. Submarine dunes and their sedimentary environment of eastern sea area of Dongshan Island, Fujian[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 1996, 15(4): 324-330.
- [16] 夏法,陈家杰. 福建东山岛的若干地质地貌问题[J]. 华南地震, 1986, 6(3): 44-53.
 Xia Fa, Chen Jiajie. Some geological and geomorphological issues of Dongshan Island, Fujian[J]. South China Journal of Seismology, 1986, 6(3): 44-53.
- [17] 黄建东,洪华生,彭荔红,等. 厦门胡里山西侧海滩 沉积物粒度特征分析[J]. 台湾海峡, 1995, 14(4): 348-355.

Huang Jiandong, Hong Huasheng, Peng Lihong, et al. Analysis of grain size characteristics in beach sediment south Xiamen Island[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 1995, 14(4): 348-355.

- [18] 曹惠美,蔡锋,苏贤泽. 华南海滩剖面沉积物粒度特 征影响因子分析[J]. 台湾海峡, 2010, 29(1): 73-80. Cao Huimei, Cai Feng, Su Xianze. Analysis of factors impacting the granulometric character on the beach profile of South China coast[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2010, 29(1): 73-80.
- [19] 蔡锋, 苏贤泽, 曹惠美, 等. 华南砂质海滩的动力地 貌分析[J]. 海洋学报, 2005, 27(2): 106-114.
 Cai Feng, Su Xianze, Cao Huimei, et al. Analysis on morphodynamics of sandy beaches in South China[J].
 Acta Oceanologica Sinica, 2005, 27(2): 106-114.
- [20] 夏东兴. 海岸带地貌环境及其演化[M]. 北京: 海洋 出版社, 2009.
 Xia Dongxing. Environment and evolution of coastal geomorphology[M]. Beijing: Ocean Press, 2009.
- [21] 苏纪兰. 中国近海的环流动力机制研究[J]. 海洋学报, 2001, 23(4): 1-16.
 Su Jilan. A review of circulation dynamics of the coastal oceans near China[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2001, 23(4): 1-16.
- [22] 万小芳, 潘爱军, 郭小钢, 等. 台湾海峡西侧水动力 环境的季节变化特征[J]. 应用海洋学学报, 2013, 32(2): 156-163.
 Wan Xiaofang, Pan Aijun, Guo Xiaogang, et al. Seasonal variation features of the hydrodynamic environment in the western Taiwan Strait[J]. Journal of Applied Oceanography, 2013, 32(2): 156-163.
- [23] 汪亚平,高抒,贾建军. 浪流联合作用下潮滩沉积动 力过程的高分辨率数据采集与分析[J]. 科学通报, 2006,51(3): 338-348.
 Wang Yaping, Gao Shu, Jia Jianjun. High-resolution data collection for analysis of sediment dynamic process associated with combined current-wave action over intertidal flats[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(3): 338-348.

Spatial and temporal characteristics of surface sediment grain size in Wujiao Bay, Dongshan Island

ZHOU Zai-ming, YANG Yan-ming, CHEN Ben-qing

(Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, China)

Received: Mar.13, 2015

Key words: Wujiao Bay; surface sediment; temporal and spatial variation; grain size parameter; frequency curve

Abstract: In order to further understand the spatial and temporal grain size distribution of surface sediments in a cape-bay coastal environment, Wujiao Bay, Dongshan Island, Fujian province was studied as a representative area. Surface sediment samples were collected during October 2013 (autumn), February 2014 (spring), and July 2014 (summer). Sediment grain size was analyzed using a Mastersizer 2000 laser particle size analyzer and a sieve method. Sampling position and profile altitude were measured using a GPS. Results showed that sandy sediments (0.16–0.500 mm) were the dominant particles. Moreover, a small quantity of coarse sand or fine gravel existed, which was in agreement with the sandy sedimentary environment. From south to north, the sediments gradually changed from coarse to fine sand, and the grain size distribution tended to be smaller. This may be caused by the cape-bay coastal geomorphology, dynamic effects of wind and waves, and local sediment provenance. Seasonal variation of sediment grain sizes at each sampling point changed complicatedly with different degree. In general, grain sizes changed from smaller to larger and were more stable from south to north along the Wujiao Bay coastline, compared with sediments from autumn 2013. This may be due to different marine hydrodynamics during different seasons or due to the effects of the NE and SSW monsoon, wave, tide, and current systems.

(本文编辑:谭雪静)