

文章编号: 1000- 0585(2002)06- 0707- 08

山东月湖的沉积物分布特征及搬运趋势

薛允传¹, 贾建军², 高 抒²

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

2. 南京大学 海岸与海岛开发教育部实验室, 南京 210093)

摘要: 1998 年 11~ 12 月和 1999 年 8~ 9 月各一个月对月湖进行的野外工作, 共取得表层沉积物样品 131 个, 应用激光粒度仪并结合传统的筛分法对这些样品进行粒度分析, 进行矩法计算获得粒度参数。采用 Gao 命名方法, 将沉积物划分出 5 种主要类型。利用 Gao- Collins 粒径趋势分析模型, 计算该区沉积物粒径趋势所显示的沉积物净搬运方向, 结果表明, 沉积物从四周向湖中心搬运, 同时显示湾顶的西部和北部、涨潮三角洲以及湖心等地貌单元是沉积的优势区域。

关 键 词: 沉积物搬运; 粒度参数; 泻湖; 潮汐汉道

中图分类号: P736. 21⁺ 2 **文献标识码:** A

1 前言

潮汐汉道是砂质海岸常见的沉积地貌单元, 是海岸带的重要组成部分, 其作为港口航道、旅游、海水养殖等方面资源的重要性早已被认识。月湖是位于山东半岛最东端荣成市内的一个小型的泻湖——潮汐汉道系统, 虽然湖区面积仅 5 km², 却具有很高的科研、经济、生态、休闲旅游价值。湖内动植物繁盛, 是当地渔民重要的天然渔业资源地。同时月湖也是东北亚多种候鸟迁徙的途经之地和越冬栖息地, 被国家设为“白天鹅自然保护区”。月湖自然风光秀美, 海滨景色宜人, 拥有阳光、海滩等海岸带休闲旅游的优越条件, 更兼有“天鹅之乡”的独特生态景观, 是国家级风景名胜区——山东半岛滨海风景区(蓬莱—荣成)的重要组成部分。20 世纪 80 年代之前, 月湖的环境与生态系统是比较稳定的, 1979 年, 当地居民开始较大规模地人工改造月湖的物理系统, 在口门建造了水坝, 在潮间带围垦虾池, 结果造成物理环境和生态系统恶化, 泥沙在湾内迅速淤积, 水交换不畅, 水质恶化, 这已经引起当地政府和人民的高度重视。

国外对潮汐汉道的研究已经相当深入, 包括水动力、地质、地貌以及稳定性诸方面。而国内对于月湖的研究, 总体水平还比较低。1962 年中国科学院海洋研究所海洋地质与地球物理研究室实施了山东半岛沿海的地质与地貌综合调查, 在月湖附近开展了一些工作。上世纪 80 年代完成的全国海岸带综合调查, 使人们对月湖周边地区的地质地貌、气象水文、生物生态等方面有了比较系统的认识。1992 年夏季, 青岛海洋大学海洋地质系

收稿日期: 2002- 05- 15; 修订日期: 2002- 09- 16

基金项目: 国家 863 项目 (200AA633010)

作者简介: 薛允传 (1974-), 男, 山东临沂人, 在读博士生。主要从事海洋沉积动力学和 GIS 应用研究。

组织一批学生在该地区进行了为期一个月的实习, 积累了一些基础性的资料。从已有的文献看, 月湖的地质、地貌、沉积^[1~3], 水动力与系统的稳定性^[4,5], 沿岸输沙与演化趋势^[6], 开发利用与环境保护^[5~8]等方面已做了一定的工作。本文在 1998 年 11~12 月和 1999 年 8~9 月各一个月对月湖野外调查工作的基础上, 详细分析了月湖的沉积物分布, 同时利用 Gao-Collins 粒径趋势分析方法, 计算月湖的沉积物净搬运方向。并在此基础上探讨了月湖与海洋、陆地以及大气之间的物质交换。

2 研究区概况

月湖又名天鹅湖, 位于山东半岛最东端荣成市境内, 其西、北、南三面均为陆地所包围, 东部荣成湾沿岸漂沙在其外侧形成一沙嘴, 使其与荣成湾隔开, 沙嘴不断延伸, 迫使月湖口门不断南移, 直到目前位置, 仅在东南部有一宽约 132 m (平均中潮位) 的潮流通道与外海相通, 面积 4.94 km², 是一个典型的潮汐汊道系统。月湖的西岸和南岸广泛分布着死海蚀崖, 岸线较平直, 崖下地形平缓, 逐渐过渡为潮间湖滩或湖蚀平台。月湖的涨、落潮三角洲发育完好, 涨潮三角洲呈扇状分布, 面积约为 0.6 km², 落潮三角洲规模相对较小, 由几个小型沙质堆积体组成, 平面形态呈“心”形, 面积约 0.1 km²。

当地居民于 1986 和 1992 年在月湖北侧分别开挖了面积为 0.41 km² 和 0.18 km² 的养虾池, 近年来由于虾病泛滥, 养虾亏损, 虾池几近废弃 (图 1)。

月湖平均水深仅 1 m 左右, 潮汐为不正规半日潮。汇水面积约 15.2 km², 只有几条非常小的季节性河流注入, 流水地貌很不发育。

3 方法

3.1 野外样品采集

1998 年 11 月到 12 月及 1999 年 8 月到 9 月, 在月湖进行了两次各为期一个月的野外工作, 共取得表层底质样 131 个 (图 2)。

取样间隔由于受潮位、天气等客观条件限制, 从 100 m 到 200 m 不等, 取样点定位采用麦哲伦 2000XL 型手持式 GPS, 定位精度为 0.01 分。

3.2 样品粒度分析

对粒径 < 2 mm 的样品, 采用 Cilas940 L

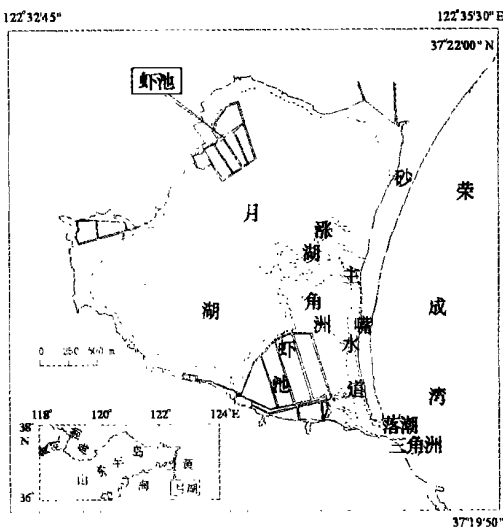


图 1 研究区概况

Fig. 1 The study area

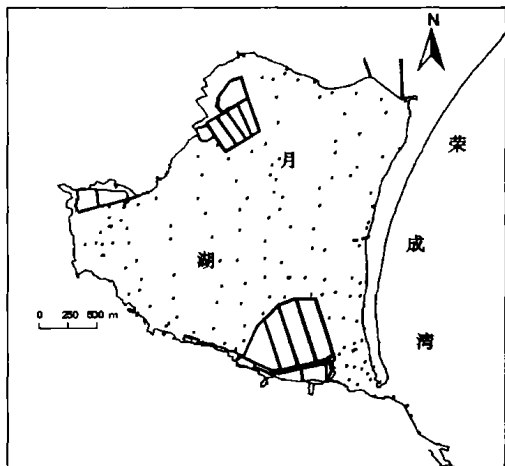


图 2 野外工作站位

Fig. 2 Sampling stations

型激光粒度仪（法国 Cilas 激光工业公司产品，测量范围为 0. 3~ 2000μm）进行粒度分析，并用 Cilas 自带的软件包插值成 0. 25φ 间隔的粒度分布。对于粒径 > 2mm 的样品，先用 1. 4 mm 孔径的筛子湿筛；细颗粒部分仍用激光粒度仪进行分析，粗颗粒部分用传统筛法分析，最后两部分数据合并获得完整的粒度分布，并使用样条函数插值获得 0. 25φ 间隔的粒度分布。采用 McManus 矩法计算平均粒径 μ、分选系数 δ、偏态 sk^[9] 三个粒度参数，计算公式如下：

$$\mu=\frac{\sum f m}{\sum f} \tag{1}$$

$$\delta=\sqrt{\frac{\sum f(m-\mu)^2}{\sum f}} \tag{2}$$

$$sk=\sqrt[3]{\frac{\sum f(m-\mu)^3}{\sum f}} \tag{3}$$

上式中：m 为粒径（以 φ 值表示），f 为 m 粒级所占的百分含量。并用在 Folk（1980）命名三角图的基础上稍作修改的 Gao 命名方法（1993）进行定名（见图 3）。

此方法中，砾石（gravel）≤- 1 φ，- 1 φ< 砂（Sand）≤4 φ，泥（mud）> 4φ，泥包括了传统分类方法上的粉砂和粘土两大类。

3. 3 粒径趋势分析

长期以来，沉积学家试图从沉积物的粒度特征中提取沉积环境的有关信息，McLaren 指出沉积物的平均粒径（u），分选系数（s）和偏态（sk）能够指示搬运方向，沉积物粒度参数的分布不受具体的搬运过程和沉积环境的影响。并且认为，用上述三种粒度参数，在相邻的两个采样点之间可以定义八种粒径变化趋势，但是有两种变化趋势在沉积物的净搬运方向上有较高的出现频率，即（1）沉积物在搬运方向上分选变好、粒径变细且更加负偏；（2）沉积物在搬运方向上分选变好、粒径变粗且更加正偏^[10,11]。Gao 和 Collins 在此基础上提出了二维的粒径趋势分析模型^[12]。具体技术流程如下：

（1）确定单位矢量。两个相邻的采样点 A、B，如果出现上述两种粒径变化趋势之一，即可定义出一个矢量，方向从分选系数大的点到分选系数小的点。用一特征距离来判断两点是否相邻，若两采样点间距小于特征距离，则认为相邻，否则不相邻。Gao 和 Collins 建议采用最大采样间距作为特征距离^[12]。同时，由于该矢量由平均粒径、分选系数和偏态三者共同决定，所以其长度和方向难以确定。因此，为了方便起见，所有相邻点之间确定的矢量都为无量纲单位矢量。

（2）矢量合成。将每个取样点的所有单位矢量求和，得到该点在平面上的粒径趋势矢量，计算公式如下：

$$\vec{R}(x,y)=\sum_1^n \vec{r}(x,y)_i \tag{4}$$

式中：R(x,y)为取样点的合矢量，r(x,y)_i 为取样点的第 i 个单位矢量，n 为取样点的

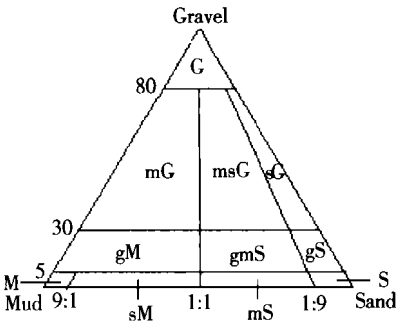


图 3 沉积物分类三角图（据 Gao，1993）
Fig. 3 Sediment classification triangle
(based on Gao method, 1993)

单位矢量数。

(3) 消除噪声。将第二步得到的趋势矢量与相邻点的趋势矢量取平均，以消除噪声，更好地反映沉积物的净运输格局。取平均的公式为：

$$\vec{R}_{av}(x,y)=\frac{1}{k+1}[\vec{R}(x,y)+\sum_1^k\vec{R}_j] \tag{5}$$

式中： $\vec{R}_{av}(x,y)$ 为平均搬运趋势矢量， \vec{R}_j 为相邻点的粒径趋势矢量， k 为相邻点的个数。最后得到的合成矢量模式，表示了沉积物的净搬运方向。

Gao- Collins 模型自提出以来，已经应用到了很多地区^[13~17]，与流场观测、示踪砂实验和地貌特征所显示的沉积物搬运格局比较一致，表明这种粒径趋势分析方法有相当的可靠性。但对应用到象月湖这样面积小、水深浅的区域，还没有人做过尝试，本文采用这种方法计算月湖沉积物的净搬运趋势。

4 结果

4. 1 月湖沉积物分布特征

月湖表层沉积物大致呈环状分布，以细颗粒沉积物为主，从岸到湖心逐渐变细，依次为砾质砂、泥质砂、砂质泥和泥。砂只分布在落潮三角洲和湖的东北角。砾质砂分布在主水道和湖西南近岸区，泥质砂主要分布在涨潮三角洲及月湖的东北和西南近岸区，泥质区位于月湖中央，砂质泥环绕泥质区分布。（图 4）

月湖表层沉积物的平均粒径和沉积物类型有着比较好的对应关系，泥质区基本上分布在平均粒径为 6ϕ 的等值线圈内，砂质泥的平均粒径主要是 $6\phi\sim 4\phi$ 之间，泥质砂的平均粒径大致为 $2\phi\sim 4\phi$ ，砂及砾质砂区的平均粒径小于 2ϕ （图 5 a）。

分选系数多在 2. 0~ 2. 5 之间，属中等；口门分选系数在 0. 5~ 1. 0 之间，分选较好，这可能是由于此处流速较大，同时加上波浪的淘选作用所致。涨潮三角洲分选系数在 3. 0~ 3. 5 之间，分选较差，这可能是由于涨潮流在此进入月湖湖盆，水流迅速扩散，流速突然降低，大量泥沙来不及分选就沉降下来造成的（图 5 b）。沉积物多为正偏，偏态值为 1~ 2 左右，近口门处有小片负偏区存在，偏态数为 - 0. 5，湖心偏东有小片区域的偏态值接近于 0（图 5 c）。

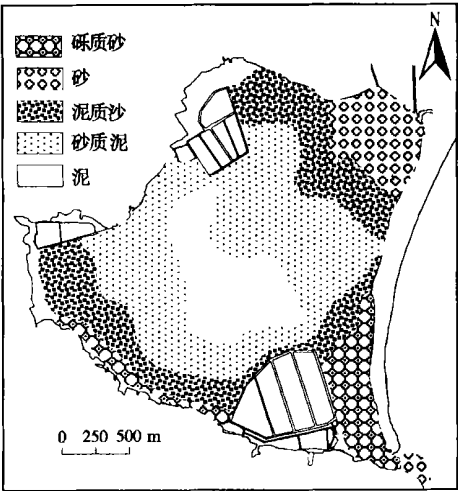
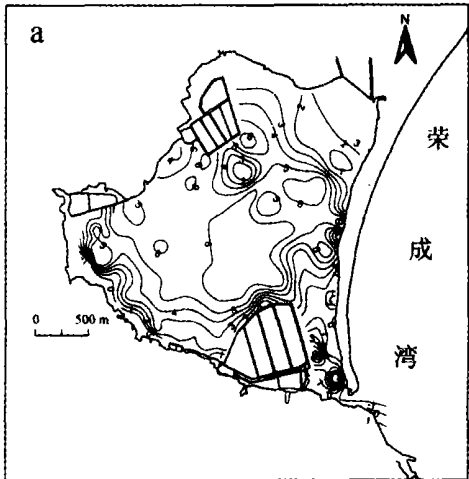


图 4 月湖表层沉积物类型分布
Fig. 4 Distribution pattern of the surface sediment in Yuehu



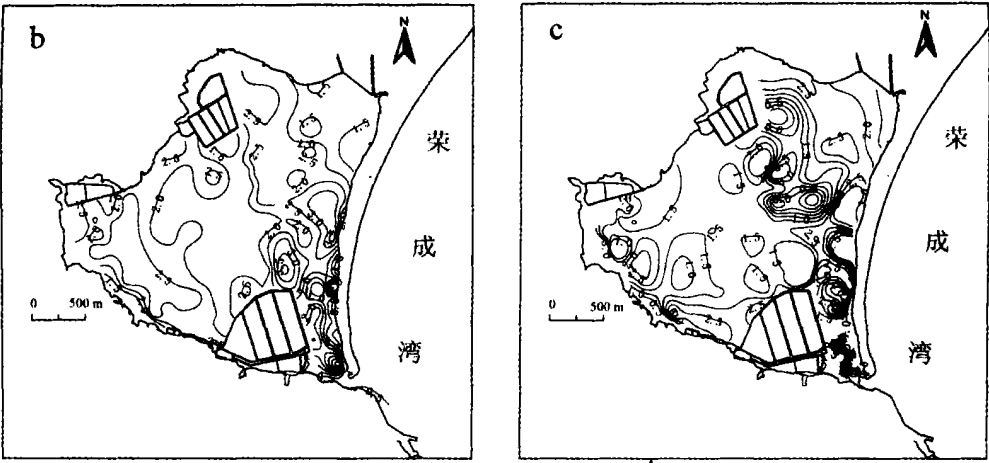


图5 沉积物粒度参数分布 (a 平均粒径; b 分选系数; c 偏态)
Fig. 5 Distribution pattern of the grain size parameters
(a. Mean grain size; b. Sorting coefficient; c. Skewness)

4. 2 沉积物搬运趋势

如上述方法, 将 131 个表层样品的平均粒径、分选系数和偏态作为 Gao- Collins 模型的输入。同时经过计算对比, 选取特征距离为 200 m, 结果如图 6。除落潮三角洲和主水

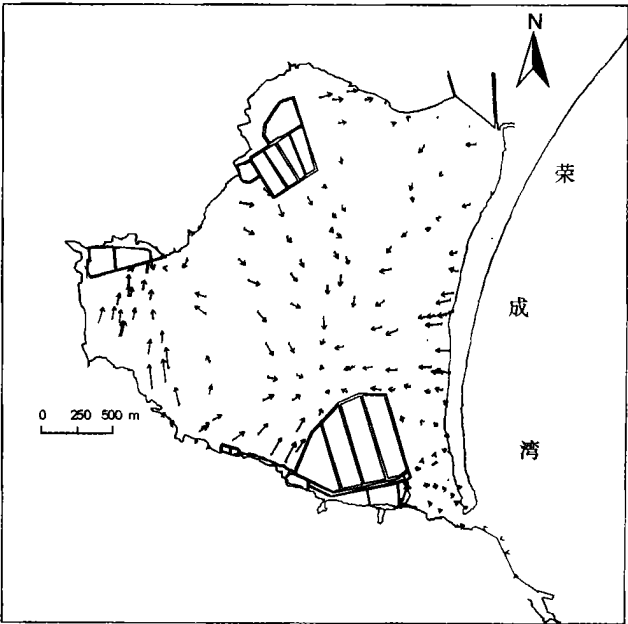


图6 月湖表层沉积物搬运趋势
Fig. 6 Grain size trends in Yuehu

道的搬运趋势不明显外, 其它部分表现出良好的一致性, 即从四周向湖中心搬运, 这与表层沉积物类型的分布情况吻合良好。同时显示湾顶的西部和北部、涨潮三角洲以及湖心等地貌单元是沉积的优势区域。在主水道的粒径趋势并不显著, 这是因为在口门及主水道, 涨落潮的净搬运方向是相反的, 变化非常频繁; 同时在此区域的采样是分别在涨潮或落潮期间进行的, 采样间距也较大, 分辨率不够高。因此粒径趋势分析的结果可能表现出: 在涨潮期间采样的搬运方向向内, 而在落潮期间的搬运方向向外。涨潮流由主水道进入湖盆后, 由于水流迅速扩散, 流速迅速降低, 挟带的泥沙大量在涨潮三角洲上沉降下来, 较细的物质继续向湖心搬运, 而堆积起来, 所以自涨潮三角洲开始呈现出明显的向湖内搬运的趋势。这种搬运趋势表明月湖正处在淤积状态, 这与贾建军^[18]用 ^{210}Pb 方法测得月湖湖区大部分区域的沉积速率为 $2\sim 5\text{ mmyr}^{-1}$, 而湖心的沉积速率高达 18.2 mmyr^{-1} 的结论相一致。

5 讨论与结论

5.1 讨论

5.1.1 月湖沉积物来源 目前月湖处于淤积状态, 月湖表层沉积物大致呈环状分布, 从四周到湖心逐渐变细, 依次为砾质砂、泥质砂、砂质泥和泥。月湖是一个典型的潮汐水道系统, 仅有一个狭窄的口门与外海相通, 这是它与外海进行物质交换的惟一通道。荣成湾存在一较强的由北向南的沿岸漂砂, 在月湖口门处的毛输沙率为 $2.04 \times 10^4\text{ m}^3\text{ yr}^{-1}$ ^[6], 它可以通过主水道进入月湖而在主水道和涨潮三角洲上沉积下来。但湖西南及东北沿岸的粗粒物质(砾质砂及砂质泥)不可能来自荣成湾, 只能来源于湖岸以及流域地面的侵蚀物质。同时本区是山东半岛沿海海湾中平均风速最大的海湾之一, 山东半岛地区地面自然植被覆盖率较低, 加之秋、冬、春季降水较少, 地表土松散, 易于在大风过境时形成扬尘天气; 近一二十年来, 由于人类活动(如开挖虾池、在口门处修筑大坝等活动)造成月湖的水交换不畅, 湾内藻类大量繁殖, 死亡后腐烂堆积起来, 据贾建军的研究, 月湖湖心的颗粒态有机碳含量平均为 2.7% , 对应的有机碳通量为 $0.34\text{ kgm}^{-2}\text{ yr}^{-1}$ ^[18], 每年对月湖沉积物的贡献也相当可观。潮汐水道系统处于陆地、海洋和大气的共同作用之下, 系统异常复杂, 对其沉积物的来源及其每种来源的贡献需要做进一步的研究。

5.1.2 粒径趋势分析 从结果来看 Gao-Collins 模型在小型海湾环境中, 有一定的适用性。但是粒径趋势分析是建立在沿净输运方向, 沉积物的 3 个粒度参数变化有两种情况出现的概率较高的统计规律之上, 因此分析结果仅表明沉积物的净搬运方向, 只是一个概念模式, 并不具有净输沙率的含义。同时粒径趋势分析的理论基础是统一的搬运环境, 在应用在像月湖这样面积既小, 沉积物来源又比较复杂的地区时, 要特别注意取样间隔要尽量小, 在确定特征距离时不要太大, 以免跨越了不同的沉积环境, 造成分析结果的失真。

5.2 结论

5.2.1 湖表层沉积物分布特征 月湖表层沉积物大致呈环状分布, 以细颗粒沉积物为主, 从岸到湖心逐渐变细, 依次为砾质砂、泥质砂、砂质泥和泥。砂只分布在落潮三角洲和湖的东北角。砾质砂分布在水道和湖西南近岸区, 泥质砂主要分布在涨潮三角洲及月湖的东北和西南近岸区, 泥质区位于湖中心, 砂质泥环绕泥质区分布。

5.2.2 表层沉积物搬运趋势 除落潮三角洲和主水道的搬运趋势不明显外, 其它部分表现出良好的一致性, 即从四周向湖中心搬运, 这与表层沉积物类型的分布情况吻合良好。同时显示湾顶的西部和北部、涨潮三角洲以及湖心等地貌单元是沉积的优势区域。

致谢: 李坤业、官晨钟、汪亚平、王桂芝、王红莉等协助参加了野外采样, 山东省荣成市马山实业集团银滩养殖场提供了后勤支持, 谨致谢忱。

参考文献:

- [1] 蔡月娥, 蔡爱智. 山东半岛海岸泻湖的沉积环境. 海洋与湖沼, 1984, **15**(5): 468~ 478.
- [2] 吴锦秀, 刘仲衡, 陈洪亮, 等. 山东半岛荣成湾海岸泻湖沉积环境的初步分析. 海洋与湖沼通报, 1986, (2): 19~ 24.
- [3] 李从先, 陈刚, 高曼娜, 等. 山东荣成成山角至石岛海岸地貌和沉积特征. 海洋与湖沼, 1987, **18**(2): 162~ 172.
- [4] 魏合龙, 庄振业. 山东荣成湾月湖地区泻湖—潮汐汉道体系的研究. 湖泊科学, 1997, **9**(2): 135~ 140.
- [5] Gao S, Zhuang Z Y, Wei H L, *et al.* Physical processes affecting the health of coastal embayments: an example from the Yuehu inlet, Shandong Peninsula, China. In: Hong G H, Zhang J, Park B K. Health of the Yellow Sea. 1998. 314~ 329.
- [6] 王永红, 庄振业, 李学伦. 山东荣成湾沿岸输沙率及沙嘴的演化动态. 海洋地质与第四纪地质, 2000, **20**(4): 15~ 21.
- [7] 吴桑云. 浅析海湾资源开发利用—以荣成市海湾为例. 黄渤海海洋, 1989, **7**(2): 34~ 40.
- [8] 陈伟, 李经武, 张起信. 大天鹅的越冬栖息地—荣成天鹅湖调查初报. 海洋与湖沼通报, 1991, (2): 57~ 61.
- [9] McManus J. Grain size determination and interpretation. In: Tucker M. Techniques in Sedimentology. Oxford: Blackwell, 1988. 63~ 85.
- [10] McLaren P. An interpretation of trends in grain size measures. Journal of Sedimentary Petrology, 1981, **51**(2): 611~ 624.
- [11] McLaren P, Bowles D. The effects of sediment transport on grain-size distributions. Journal of Sedimentary Petrology, 1985, **55**(4): 457~ 470.
- [12] Gao S, Collins M. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of "transport vectors". Sedimentary Geology, 1992, **81**(3/4): 47~ 60.
- [13] Gao S, Collins M. Analysis of grain size trends of defining sediment transport pathways in marine environments. Journal of Coastal Research, 1994, **10**(1): 70~ 80.
- [14] Pedreros R, Howa H L, Michel D. Application of grain size trend analysis for the determination of sediment transport pathways in intertidal areas. Marine Geology, 1996, **135**: 35~ 49.
- [15] 贾玉连, 柯贤坤, 许叶华, 等. 渤海湾曹妃甸水坝—泻湖海岸沉积物搬运趋势. 海洋科学, 1999, (3): 56~ 60.
- [16] 汪亚平, 高抒, 贾建军. 胶州湾及邻近海域沉积物分布和运移趋势. 地理学报, 2000, **55**(4): 449~ 458.
- [17] 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. 海洋与湖沼, 2000, **31**(6): 604~ 615.
- [18] 贾建军. 小型潮汐汉道系统的沉积动力过程与演化. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2001. 7

Sediment distribution and transport patterns in the Lagoon Yuehu at the eastern tip of Shandong Peninsula, China

XUE Yun-chuan¹, JIA Jian-jun², GAO Shu²

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, State Key Lab of Resources and Environmental Information System, Beijing 100101, China;

2. MOE Key Laboratory for Coast and Islands Development, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: 131 surface sediment samples were collected from Yuehu during November– December 1998 and August– September 1999, respectively. These samples were analyzed using a Cilas940 L Laser Analyzer and by sieving (for particles with a diameter of < 2 mm and > 2 mm, respectively) to obtain grain size parameters. Three grain size parameters, i. e., mean grain size (μ), sorting coefficient (δ) and skewness (sk) are then calculated by a moment method. Five main sediment types are present in Yuehu according to the sediment classification scheme proposed by Shu Gao (1993, slight modification based on Folk (1980) classification scheme). The result shows the sediment appears annular distribution and is mainly composed of fine materials: From bank to center the sediment becomes finer gradually, i. e., from gravel sand, muddy sand, sandy mud to mud in turn. Sand is only distributed on ebb delta and north – east corner of the lake.

There is a close relationship between mean grain size for sediment and sediment types in Yuehu where the mud area is mostly enclosed by 6ϕ contour. The mean grain size for sandy mud is between 6ϕ and 4ϕ and muddy sand is between 4ϕ and 2ϕ . In the sand and gravel sand distributed area the mean grain size is less than 2ϕ . Sorting coefficient and skewness value for sediment in Yuehu is 2.0~ 2.5 and 1~ 2 respectively. But the sediment located over flood delta is not well sorted with the sorting coefficient value between 3.0 and 3.5. At the same time the sediment near the mouth is negatively skewed with a value of 0.5 and the skewness is near 0 in a small area to the east of the center.

The two dimensional model for grain size trend analysis proposed by Gao and Collins (1992) is adopted to identify sediment transport pathways in the study area. The net sediment transport pathways derived by using this model show that sediment is transported from bank towards the center, except the net sediment transport pathways are not obvious over ebb delta and main channel. At the same time the result shows that the north and west part of the top of the lake, flood delta and center are deposition centers. Such patterns are highly consistent with the sediment distribution pattern. Therefore this model is applicable for such a small area as Yuehu.

Key words: sediment transport; grain size parameters; Lagoon; tidal inlet