

厦门湾及邻近海域沉积物分布特征和沉积速率

刘治帅¹, 杨 旻¹, 陈 坚², 王爱军², 李东义², 汪亚平³

(1. 南京大学 海岸与海岛开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210093; 2. 国家海洋局 第三海洋研究所, 福建 厦门 361005; 3. 南京大学 江苏省海岸与海岛开发重点实验室, 江苏 南京 210093)

摘要: 2007年和2010年在厦门湾及邻近海域进行底质表层沉积物和柱状岩心样品采集, 并进行粒度分析及粒度参数计算, 获得了研究区底质表层和柱状沉积物样品的粒度分布特征。结果表明, 厦门湾海域沉积物类型多样, 以粉砂质砂和砂质粉砂为主。平均粒径介于 $-1.5\phi\sim 7.5\phi$ 之间。采用 Gao-Collins 粒径趋势分析方法, 发现九龙江口的沉积物主要呈东南方向净输运, 而大金门南侧海域沉积物则有向九龙江口输运的趋势, 同安湾内沉积物由海岸向湾中央输运; 厦门东部海域沉积物向北输运, 翔安南部海域沉积物向同安湾口以及澳头近岸输移。对柱状岩心进行放射性同位素 ^{210}Pb 测年分析, 计算得到九龙江口沉积速率为 2.62 cm/a, 进而探讨了九龙江口的沉积环境演化特征, 研究成果可为区域资源开发和环境保护提供科学依据。

关键词: 厦门湾; 沉积物; 粒度特征; 粒径趋势分析; 沉积速率

中图分类号: P734 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2012)06-0001-08

粒度分析是沉积学、古环境、海岸带地貌学研究以及海岸沉积动力学研究的基本方法^[1-4], 已成功应用于风成沉积、海洋、湖泊、河流和浊流沉积环境及土壤学的研究中。沉积物粒径趋势分析是从沉积物的粒度参数的空间分布规律中提取沉积物净输运方向的信息^[3]。本文使用 Gao-Collins^[4-5]二维沉积物粒径趋势分析法探讨厦门湾海域的沉积物净搬运趋势。沉积速率是河口海岸沉积研究的重要方面, 它能综合体现沉积过程的特征, 是确定沉积环境的定量指标^[6]。沉积物中的放射性 ^{210}Pb , 它的半衰期为 223 a, 适用于百年尺度内沉积速率的测定。通过柱状样中 ^{210}Pb 的测定, 计算沉积速率, 可以反演现代沉积过程, 更可以得到沉积环境变化的特征。

本文选取厦门湾及邻近海域为研究区, 分析本地区的沉积物类型以及粒度分布特征, 通过沉积物输运趋势分析研究海底沉积物的净输运格局, 通过同位素测年计算沉积速率, 探讨九龙江口的沉积环境演化特征。

1 研究区概况

厦门湾位于台湾海峡西南, 福建省南部海域, 是一个半封闭型海湾, 地形复杂, 岸线曲折, 北有众多的海堤, 东有大小金门岛, 西有九龙江径流流入。

由于受到独特的海岸线以及众多岛屿的影响, 厦门湾的水文泥沙状况比较复杂。九龙江是流入本区最大的河流, 年输沙量约为 $2.5\times 10^6\text{ t}$, 最大输沙量出现在6月份至9月份, 九龙江淡水主要沿南岸表层向湾口扩散。

厦门湾属于正规半日潮^[7], 潮流急, 以往复流为主, 潮差较大。潮流是本海域的主要动力, 分潮 M_2 , S_2 , O_1 的调和常数分别为 182.4, 52.8, 27.6 cm, 一般表层的落潮流速大于涨潮流速, 底层则相反。潮流的流速、流向受地形影响, 主流向多与岸线和水下地形一致, 从湾口到九龙江, 一般为东西向流, 西港海域为南北向流, 表层落潮流历时长于涨潮流历时, 底层则涨潮流历时长于落潮流历时。

2 研究材料与方法

2.1 资料来源

2007年7月在厦门海域使用抓泥斗采集底质表

收稿日期: 2012-03-28; 修回日期: 2012-04-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(40876043, 40906042); 江苏高校优势学科建设工程资助项目

作者简介: 刘治帅(1986-), 男, 山东烟台人, 硕士研究生, 主要从事海洋地质学研究, E-mail: lzs04010088@126.com; 杨旻, 通信作者, E-mail: yangy@nju.edu.cn

层沉积物样品(采样站位见图 1), 共采集底质表层沉积物样品 204 个, 对样品进行粒度分析和计算, 同时使用李霞^[8]在厦门湾采集和分析的 40 个底质表层沉积物样品粒度数据, 共获取 244 个底质表层沉积物

样品的粒度数据。于 2010 年 3 月使用重力采样器在九龙江口采集柱状岩心样 1 根(183 cm)(采样位置见图 1), 岩心按照 2 cm 间隔分样, 并对样品进行粒度分析和计算。

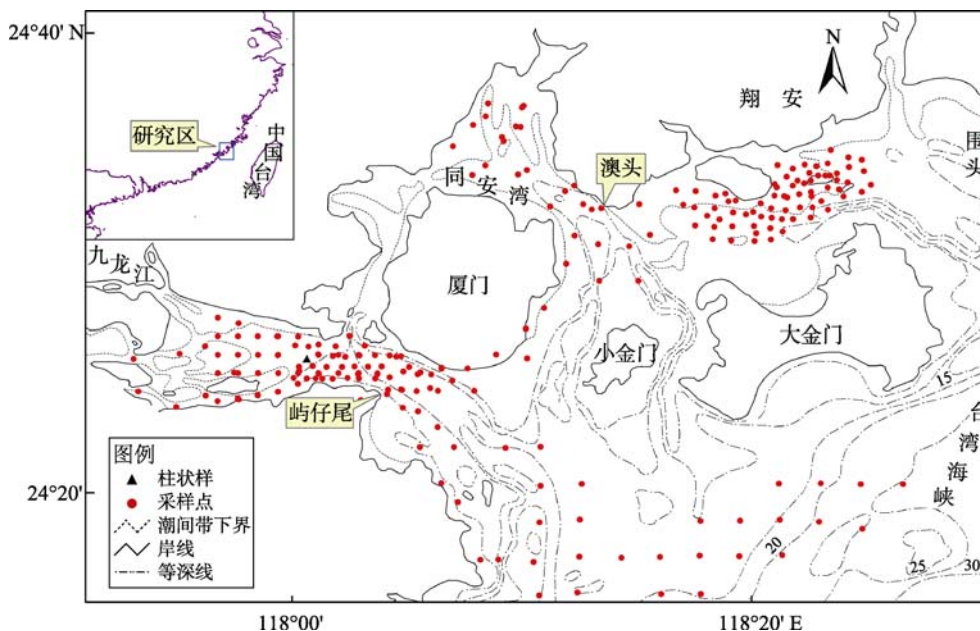


图 1 研究区位置与采样站位

Fig. 1 Location of investigation areas and sampling stations

2.2 粒度分析及粒度参数计算

获取的沉积物样品中, 对于粒径 <2 mm 样品, 采用英国 Malvern 公司生产的 MasterSizer 2000 型激光粒度仪(测量范围为 $0.02 \sim 2\,000\ \mu\text{m}$)进行粒度分析, 获得了 0.25ϕ 间隔的粒度分布数据。

对于粒径 >2 mm 样品, 先称质量, 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(使用样条函数插值获得 0.25ϕ 间隔的粒度分布数据), 两部分数据合并获得完整的粒度分布数据。

采用矩法^[9]计算沉积物的粒度参数(平均粒径、分选系数、偏态系数、峰态), 粒度参数的分级采用 McManus^[9-10]的分级方法。

对于含有粒径小于 -1ϕ 组分的沉积物, 采用 Folk^[11]和 Blair-McPherson^[12]的沉积物分类方案, 按砾($<-1\phi$)、砂($-1\phi \sim 4\phi$)、泥($>4\phi$)划分类型; 否则采用 Shepard^[13]分类方案, 按砂($<4\phi$)、粉砂($4\phi \sim 8\phi$)、黏土($>8\phi$)划分类型。

2.3 粒径趋势分析

二维粒径趋势是指沉积物粒度参数平面分布的

变化趋势。根据沉积物的 3 种粒度参数(平均粒径、分选系数和偏态), 用相邻的两个采样点参数进行比较可定义 8 种粒径趋势。其中 2 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: (1) 平均粒径变细、分选更好且更加负偏; (2) 平均粒径变粗、分选更好且更加正偏。因此, 以这两种粒度趋势所指示的方向来代表沉积物净输运方向, 具有最佳的可靠性。根据 Gao 等^[3,14]提出的二维沉积物粒径趋势分析模型, 可用沉积物的 3 种粒度参数(平均粒径、分选系数及偏态)的平面分布特征, 获得各采样点的粒径趋势矢量; 对其进行平滑处理, 以消除“噪声”, 从而可得到研究区沉积物的净搬运方向^[15]。由于沉积物粒径趋势分析是基于长时间尺度的, 因此可以选取不同时期的样品进行分析。

2.4 沉积速率分析

柱状岩心样品长度为 183 cm。采集样品后, 现场密封保存运回实验室, 随即对岩性、沉积结构等进行详细的描述, 以 2 cm 间隔对岩芯进行取样, 将其烘干、研磨细搅匀后, 利用 Po— α 法^[6]对其进行 ^{210}Pb 测年分析, 依据初始浓度恒定(CIC)模式, 由下式求

得沉积速率^[16]:

$$S = \lambda H / \ln(A_0/A_i)$$

式中: S 为沉积速率(cm/a); λ 为 ^{210}Pb 衰变常数, 取值 0.03114a^{-1} ; H 为深度(cm); A_0 和 A_i 分别为表层和深度为 H 层的 ^{210}Pb 过剩值, 其中 $H/\ln(A_0/A_i)$ 可由 ^{210}Pb 放射性活度过剩值取自然对数后与深度之间线性拟合直线的斜率求出。

3 结果与讨论

3.1 研究区底质表层沉积物粒度参数空间分布特征

由图 2~图 5 所示, 研究区沉积物以粉砂(粉砂质砂及砂质粉砂)为主, 粗颗粒物主要集中于翔安南部海域以及九龙江湾口处。整个区域平均粒径、分选系数范围分别为 $-1.5\phi \sim 7.5\phi$, $0.4 \sim 4.4$, 其中粒径较粗($< 0.65\phi$)分选较好的(< 2)沉积物主要分布于九龙江内侧。大部分地区分选较差或分选差, 仅在九龙江湾内部分地区分选好或分选较好, 整个区域以负偏为主, 大金门岛北部部分地区负偏, 而大小金门岛南部海域极正偏以及极负偏。厦门岛北部及东部海域地区, 含砂量较低, 均低于 50%, 分选较差, 且负偏。此海域以落潮流为主, 落潮流大于涨潮流, 因此含砂量较高。金门岛北部地区的粒度以少于 25% 以及 50% 到 70% 含砂量为主, 分选较差或者差, 以负偏和正偏为主。九龙江地区湾口向湾内, 含砂量逐

渐增加, 且由负偏过度为极正偏, 分选由较差到较好过渡。由于此区域主要物质来源于九龙江, 粗颗粒物由湾内向湾口逐渐沉积, 因此呈现出含砂量的递减变化。大小金门岛南部及其附近海域由于与外海相连, 特殊的地理位置, 水动力条件复杂, 因此沉积物类型相对比较复杂。

3.2 沉积物输运趋势

由图 6 可以看出, 九龙江口的海底沉积物净输运方向向东南, 来自九龙江径流的物质在九龙江口附近受到潮流作用沉积, 大金门南侧海域沉积物有向九龙江口输运的趋势。这与九龙江湾口处颗粒较粗, 分选较差相一致。同安湾沉积物由海岸输向湾中央, 自湾顶向湾内, 厦门东部海域沉积物有向北的输运趋势, 翔安南部海域沉积物输运方向向同安湾口以及澳头岸边输移。厦门湾物质输运方向主要受涨、落潮方向控制。九龙江口沉积物随退潮流向厦门湾内输运, 通过屿仔尾, 在大担岛附近转向南偏东方向扩散。厦门外港以及翔安南部海域沉积物输运的方向与涨潮流总体一致, 表明涨潮流对厦门外港以及翔安南部海域沉积物输运方向起着决定作用。

3.3 柱状样粒度分布特征

沉积物柱状样粒度组份含量百分比如图 7 所示, 由图中可以清晰地看到整个柱状样粒度以粉砂为主,

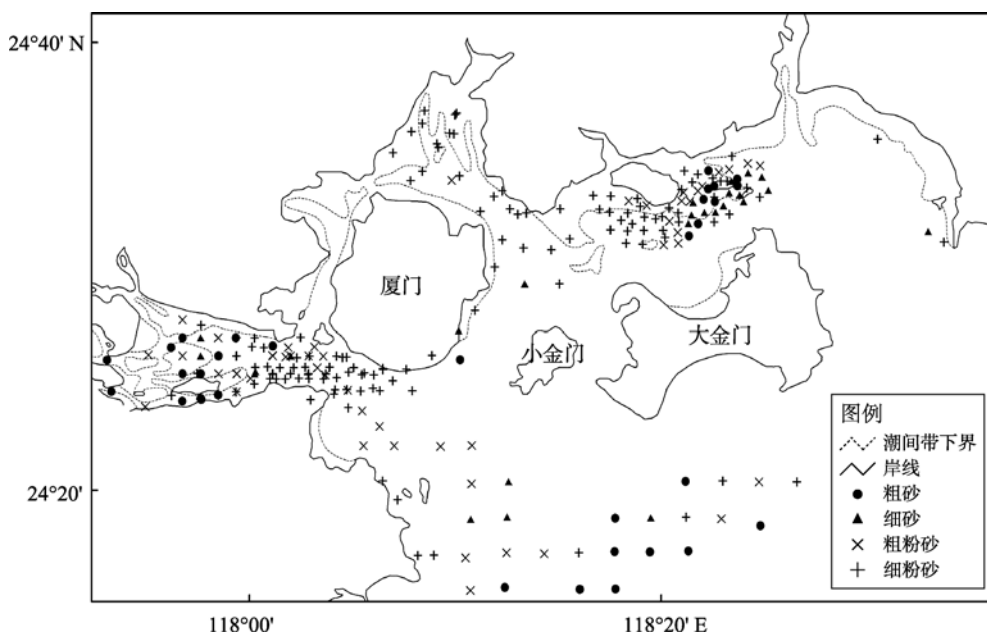


图 2 沉积物平均粒径分布图

Fig. 2 Surficial sediments mean particle sizes distribution

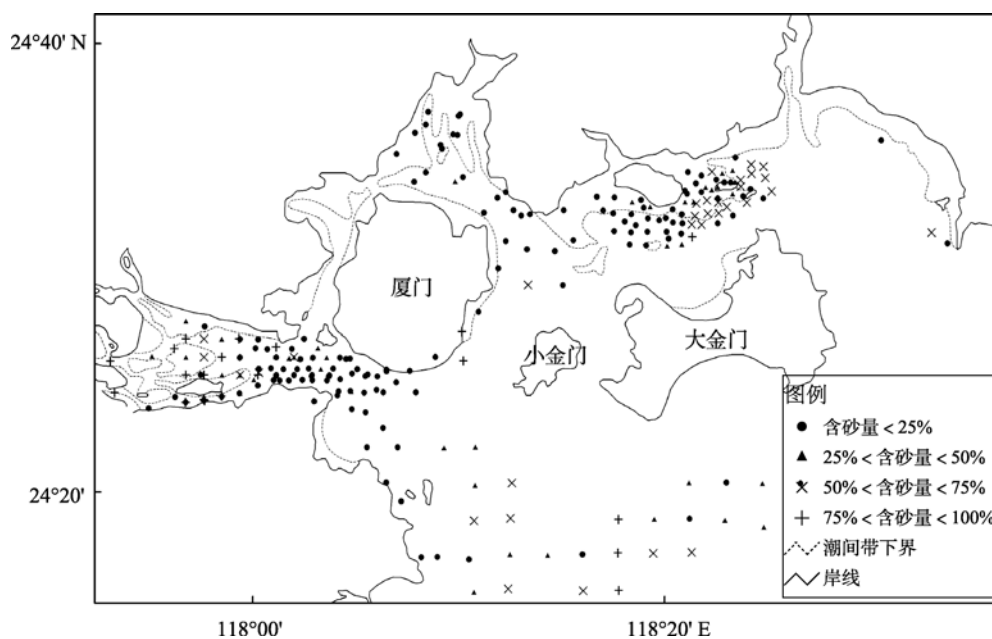


图 3 沉积物含砂量分布图

Fig. 3 Sand content in the surficial sediments

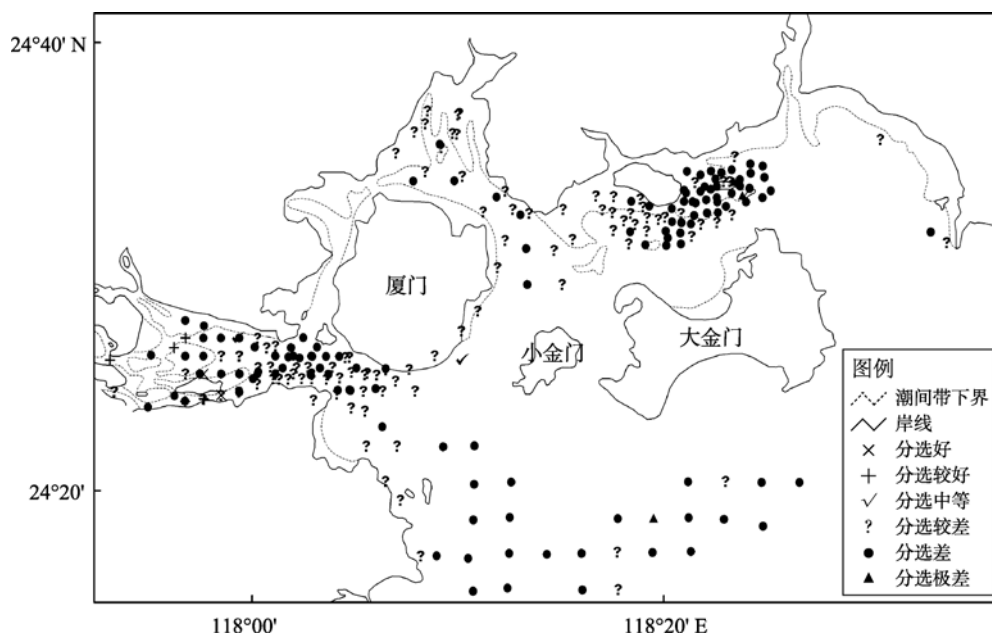


图 4 沉积物分选系数分布图

Fig. 4 Sorting coefficient of the surficial sediments

粉砂含量的平均值达到 53.65%，砂和黏土的含量平均值分别占到了 25.66%和 20.69%。从图中可以看出各种指标的垂向变化大致可以分为几个部分：0~40 cm 之间砂和黏土含量相当，40~70 cm 黏土和粉砂含量相当，70~140 cm 砂和黏土同步增加或减少，

140~183 cm 黏土的含量很少。整个柱子的垂向变化表明，此沉积区粉砂的含量在逐年增加，而黏土的含量基本呈现减少的趋势，而在 60 cm 和 120 cm 附近出现粉砂增加的现象。

就整个岩心(图 8)而言，其岩性剖面及粒度特征

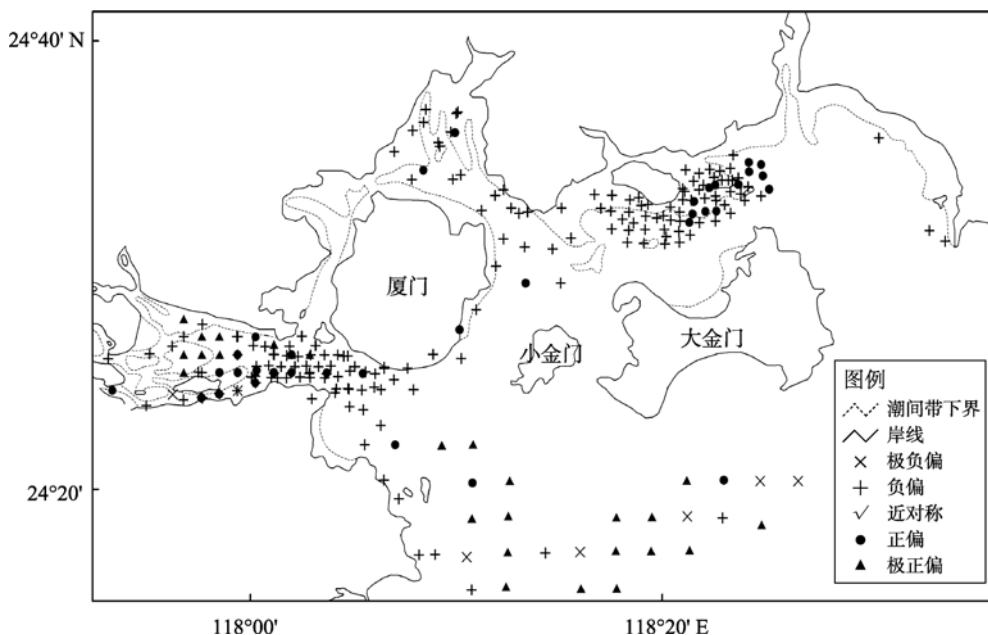


图 5 沉积物偏态分布图

Fig. 5 Skewness of the surficial sediments

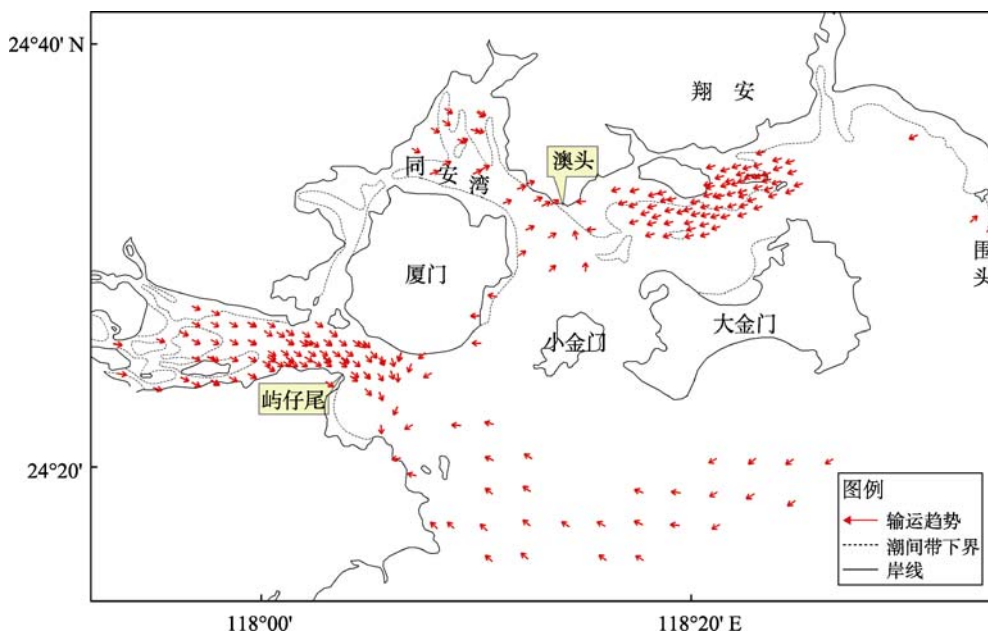


图 6 沉积物粒径运输趋势

Fig. 6 Net sediment transport pathway derived by grain size trend

的变化较大, 沉积物平均粒径在 $3.257\phi\sim7.395\phi$ 之间波动, 平均值为 5.87ϕ , 由底层到表层出现明显的变粗, 变细, 再变粗然后再变细最后趋于稳定的变化, 反映了不同时期沉积环境的变化; 而与此对应的是沉积物分选特征, 沉积物分选系数在 $1.559\sim2.909$ 之间, 平均值为 2.377 , 从底层到表层呈现分选变差, 变好又变差最后趋于稳定的变化特征。

沉积物偏态用以度量频率曲线的不对称程度, 反映的是沉积过程中的能量变异。由图可知沉积物的偏态在 $-2.225\sim2.573$ 之间, 平均值为 -0.301 , 属于负偏态; 沉积物峰态表征了沉积物频率曲线的尖锐或钝圆程度, 用来指示沉积物来源及环境对沉积物的改造程度, 此研究区沉积物的峰态在 $2.042\sim3.647$ 之间, 平均值为 2.976 , 呈现尖锐的特点。

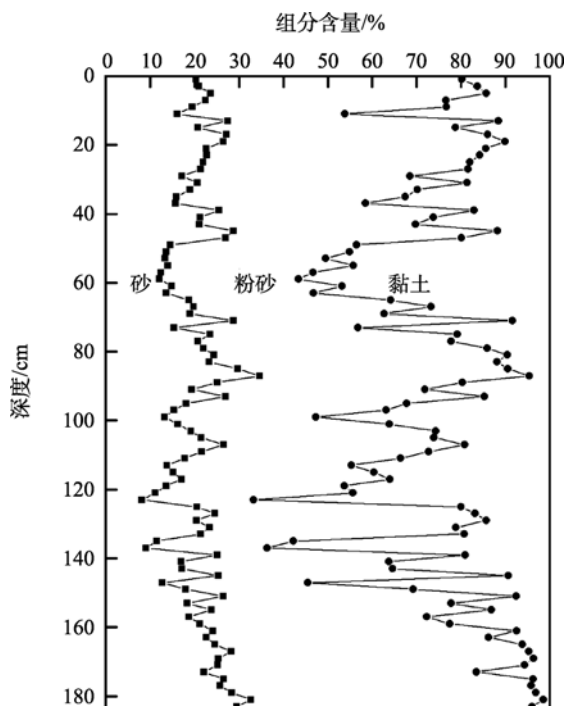


图 7 柱状岩心沉积物各粒度组分含量的垂向变化
Fig. 7 Sediment component percentage variations in the core sediments

从图 8 中可以看出, 从柱样底部向上, 平均粒径

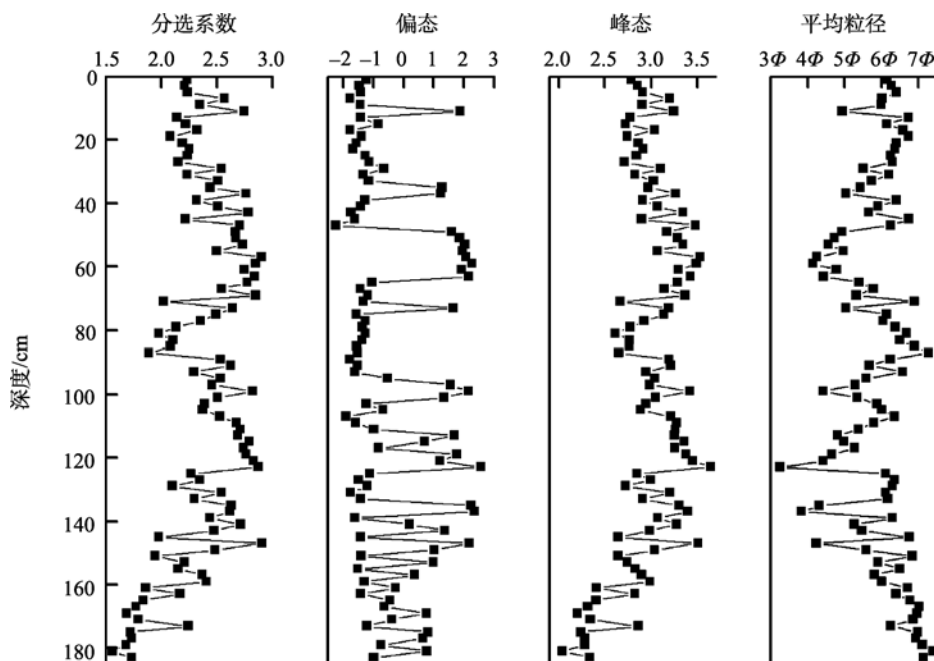


图 8 柱状岩心沉积物分选系数、偏态、峰态、平均粒径垂向变化
Fig. 8 Sediment sorting coefficient, skewness, kurtosis, and mean particle size variations in the core sediments

4 结论

对厦门湾附近所采集的底质样品的粒度分析可

呈现变粗—变细—变粗—变细的趋势, 与之对应的是分选系数呈变大(分选变差)—变小(分选变好)—变大—变小的趋势, 体现了沉积物柱样的年际变化特征。沉积物分选越好(分选系数变小), 平均粒径越大(细), 其中砂组分含量相对越小, 沉积物主要是细颗粒物质沉积。反之, 分选越差(分选系数变大), 平均粒径越小(粗), 沉积物砂组分含量增加, 粗颗粒物质在此处沉积下来。因此沉积物平均粒径的变化主要是由粗颗粒物质(砂)组分含量的变化所引起的。上述特征表明九龙江河口区沉积环境的年际变化特征主要是受到潮流动力及物源变化的影响, 其过程和机制有待于进一步研究。

3.4 沉积速率

运用 α 能谱仪法测定柱状岩心 ^{210}Pb 活度, 从 ^{210}Pb 活度垂向变化图(图 9)中可以看出, 岩心的 ^{210}Pb 活度在 87 cm 处呈现明显的转折, 而其下 ^{210}Pb 的活度基本不变(即本底值)。在本底上方, ^{210}Pb 活度呈现显著的指数衰减模式, 剔除异常点, 可计算出沉积速率。 ^{210}Pb 放射性活度过剩值取自然对数后与深度之间线性相关性为: $Y = -1.187031 X + 0.6044177$, 由此计算出九龙江河口区沉积速率为 2.62 cm/a。

得, 厦门湾地区沉积物种类较多, 以粉砂质砂以及砂质粉砂为主, 九龙江口颗粒较粗, 翔安南部以及厦门东海中等粗细, 同安湾颗粒较细。其中较粗的

($< 0.65\phi$)分选较好的(< 2)的沉积物主要分布于九龙江内侧。

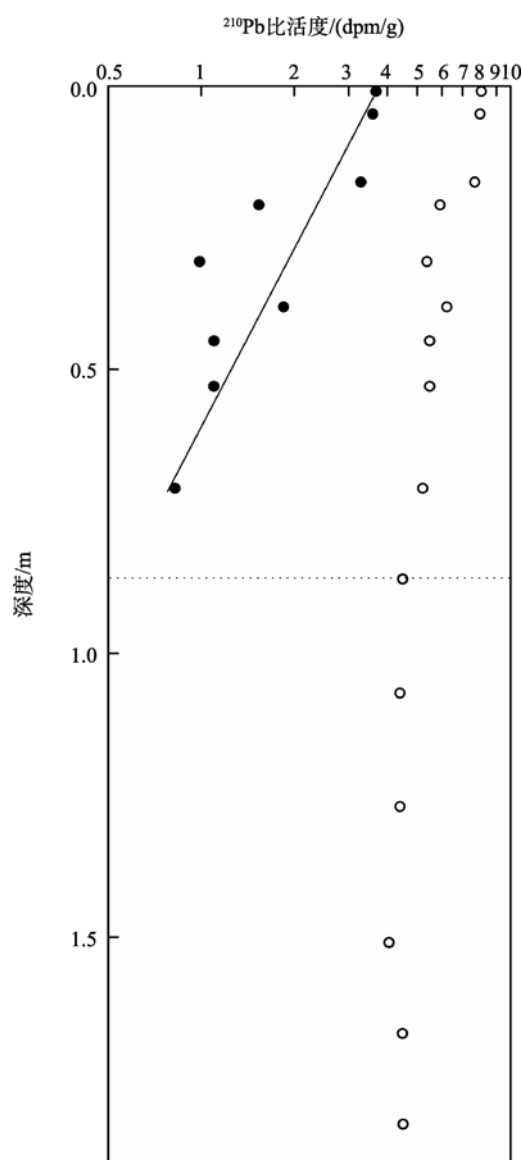


图9 柱状岩心的 ^{210}Pb 比活度垂向分布

Fig. 9 ^{210}Pb specific activity variations in the core sediments

○ 实测 ^{210}Pb 比活度; ● 过剩 ^{210}Pb 比活度

○ Measured ^{210}Pb specific activity; ● Excess ^{210}Pb specific activity

运用 Gao-Collins 模型得出该区域的沉积物净输运趋势, 九龙江口的海底沉积物净输运方向向东南, 大金门南侧海域沉积物有向九龙江口输运的趋势。同安湾沉积物由海岸输向湾中央, 自湾顶向湾内, 厦门东部海域有向北的输运趋势, 翔安南部海域沉积物输运方向向同安湾口以及澳头岸边输移。

该区域的沉积环境较为复杂, 柱状样沉积物的

平均粒径自下向上呈变粗—变细—再变粗—再变细的特征, 表明九龙江河口区沉积环境的年际变化特征主要是受到潮流动力及物源变化的影响。柱状样 ^{210}Pb 同位素测年计算得到九龙江河口区沉积速率为 2.62 cm/a 。

致谢: 南京大学冉隆江、魏晓、杜家笔参加了野外采样及室内样品分析处理工作, 南京大学毛鹏给予绘图帮助, 谨致谢忱。

参考文献:

- [1] Folk R L, Ward W C. Brazors river bar: a study in the significance of parameters [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1957, 27: 3-27.
- [2] Visher G S. Grain size distribution and depositional processes [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1969, 39: 1074-1106.
- [3] Gao Shu, Collins M. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of "transport vectors" [J]. *Sediment Geology*, 1992, 81: 47-60.
- [4] 高抒. 沉积物粒径趋势与海洋沉积动力学[J]. *中国科学基金*, 1998, 12(4): 241-246.
- [5] Gao Shu, Collins M. The use of grain size trends of size trends in marine sediment dynamics: a review[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2001, 19(3): 265-271.
- [6] 张瑞, 潘少明, 汪亚平, 等. 长江河口水下三角洲 ^{210}Pb 分布特征及其沉积速率[J]. *沉积学报*, 2009, 27(4): 705-713.
- [7] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志(第八分册)(福建省南部海湾)[M]. 北京: 海洋出版社, 1993: 165-201.
- [8] 李霞. 厦门港表层沉积物特征及其物源意义[D]. 厦门: 厦门大学, 2007.
- [9] McManus J. Grain size determination and interpretation[C]//Tucker M. *Techniques in sedimentology*. Black-well: Oxford, 1988:63-85.
- [10] 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): 576-582.
- [11] Folk R L, Andrews 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: 937-968.
- [12] Blair T C, McPherson J G. Grain-size and textural clas-

- sifical of coarse sedimentary particles [J]. Journal of Sedimentary Research, 1999, 69(1): 6-19.
- [13] Shepard F P. Nomenclature based on sand-silt-clay rations [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1954, 24: 151-158.
- [14] Gao Shu, Collins M, Lanckneus J, et al. Grain-size trends associated with net sediment transport pattern - an example from the Belgian continental-shelf [J]. Marine Geology, 1994, 121 (3/4): 171-185.
- [15] Gao Shu. A Fortran program for grain size trend analysis to define net Sediment transport pathways [J]. Computer & Geosciences, 1996, 22(4): 449-452.
- [16] 张亮, 贾建军, 高建华, 等. 海南博鳌海域的沉积物输运趋势与沉积速率[J]. 热带海洋学报, 2011, 30(2): 123-130.

Sediment distribution and deposition rate in the Xiamen Bay and adjoining waters

LIU Zhi-shuai¹, YANG Yang¹, CHEN Jian², WANG Ai-jun², LI Dong-yi², WANG Ya-ping³

(1. Key Laboratory of Ministry of Education for Coast and Island Development, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, China; 3. Jiangsu Key Laboratory of Coast and Island Development, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Received: Mar., 28, 2012

Key words: the Xiamen Bay; sediment; particle size; grain size trend analysis; deposition rate

Abstract: The bottom, surficial, and core sediments were collected from the Xiamen Bay and adjoining waters in 2007 and 2010. The sediments were analyzed to obtain the particle sizes distribution and parameters. The analysis showed that the contents of sediments varied, mainly including silty sand and sandy silt. The mean particle size was $-1.5\phi \sim 7.5\phi$. The Gao-Collins grain size trend model was applied to estimate the net sediment transport pathways in the investigation areas. The sediment transported southeastward in the Jiulong River Estuary, and towards this estuary from Dajinmen area. In addition, the sediment transported offshore to the central bay in Tonganwan area. The sediment transported towards north in the eastern Xiamen sea, and towards the mouth of Tonganwan and on-shore of Aotou. The sediment core was analyzed using the ^{210}Pb dating method. The deposition rate was 2.62 cm / a in the Jiulong River Estuary. The above results and conclusions could be utilized in regional resource exploitation and environmental protection.

(本文编辑: 刘珊珊)