

曹鹏, 刘升发, 杨刚, 等. 安达曼海东南部海域表层沉积物粒度特征及净输运趋势[J]. 海洋地质前沿, 2023, 39(12): 35-42.

CAO Peng, LIU Shengfa, YANG Gang, et al. Grain size characteristics of surface sediments and net transport patterns in the southeastern Andaman Sea[J]. Marine Geology Frontiers, 2023, 39(12): 35-42.

安达曼海东南部海域表层沉积物 粒度特征及净输运趋势

曹鹏^{1,2}, 刘升发^{1,2*}, 杨刚^{1,2}, 张辉^{1,2}, KHOKIATTIWONG Somkiat³,
KORNKANITNAN Narumol³, 石学法^{1,2}

(1 自然资源部第一海洋研究所, 自然资源部海洋地质与成矿作用重点实验室, 青岛 266061; 2 崂山实验室, 海洋地质过程与环境功能实验室, 青岛 266061; 3 泰国自然资源与环境部, 海洋与海岸带资源局, 海洋与海洋带资源研发中心, 曼谷 10210)

摘要:海底沉积物粒度是反映水动力格局最直接的指标,可以有效指示不同时间尺度陆源碎屑物质输运过程。利用激光粒度仪对取自安达曼海东南部海域的 98 个表层沉积物样品进行粒度分析,结果表明,研究区表层沉积物以粉砂、砂质粉砂及粉砂质砂为主,且粒度组成空间分区明显:北部陆架为粗粒级且分选差的残留砂质沉积区;南部内陆架为混合沉积区,以砂质粉砂、粉砂质砂和粉砂沉积为主;丹老阶地和陆坡为细粒级且分选较好的粉砂和泥质沉积区。在此基础上选用 Gao-Collins“粒径趋势”方法分析了该区域表层沉积物的净输运趋势,结果显示,当特征距离 $<0.8^\circ$ 时,普吉岛东南部海域存在沉积中心,研究区沉积物有向该区域汇聚的明显趋势,沉积物分布特征和输运趋势主要受陆源物质供给、季节性变化的西南季风流以及潮流的综合影响。

关键词:沉积物; 粒度; 沉积过程; 输运趋势; 安达曼海

中图分类号:P736.2

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2023.160

0 引言

粒度参数作为海洋沉积物的基本属性,不仅广泛应用于沉积过程、沉积环境的判别,同时也是分析沉积物输运方式的重要手段,即将粒度参数的空间变化与沉积物输运方向(粒径趋势)相联系。利用粒径趋势分析方法,首先将粒度参数的平面分布特征转换为粒径趋势矢量,然后根据趋势矢量输出海洋沉积物净输运图像,以此来指示海底沉积物的输运趋势^[1]。1985 年,加拿大地质学家 McLaren 等^[2]

首次提出使用平均粒径、分选系数以及偏态等粒度参数可指示海洋沉积物的输运方向,此后众多学者对该理论进行了进一步完善和发展,最终建立了较为完善的粒径趋势分析方法体系^[3-5],该方法已成功应用于河口^[6-7]、海湾^[8-9]、海岸港口^[10-11]以及陆架^[12-13]等环境的沉积物输运趋势研究,取得了较好的成果。

1 研究区概况

安达曼海是印度洋东北部较为独特的半封闭边缘海,东南部通过马六甲海峡与南海连通;而西部以安达曼-尼科巴群岛为界与孟加拉湾相隔,仅由格雷特海峡、十度海峡以及普雷帕里斯海峡与其进行上层海水交换;北部和东部为相对宽阔的陆架区,其中北部陆架边缘发育一个 SN 走向、宽约 120 km 的凹陷区;中部为深海盆地,最深处超过 4 000 m (图 1a)。伊洛瓦底江和萨尔温江是安达曼海最主

收稿日期:2023-06-27

资助项目:全球变化与海气相互作用专项(GASI-02-IND-CJ01);国家自然科学基金(41806082)

作者简介:曹鹏(1986—),男,博士,工程师,主要从事海洋沉积学方面的研究工作。E-mail: caopeng@fio.org.cn

* 通讯作者:刘升发(1979—),男,博士,研究员,主要从事海洋沉积和古气候演化方面的研究工作。E-mail: liushengfa@fio.org.cn

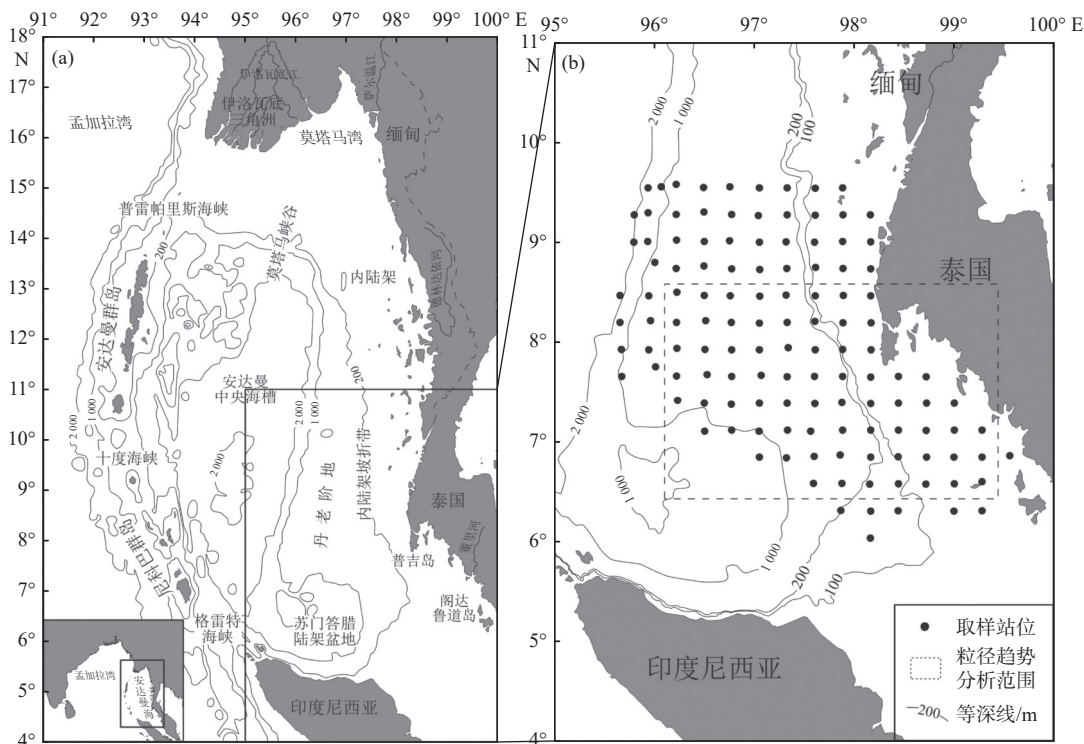


图 1 研究区位置及取样站位图

Fig.1 The location of the study area and sampling sites

要的入海河流,提供了大量的陆源物质,二者年泥沙输入量超过 500 Mt^[14]。

20 世纪 60 年代,由美国主导的国际印度洋调查(International Indian Ocean Expedition)项目对安达曼海进行了首次系统调查^[15-17],在此基础上,近十几年来周边国家在安达曼海开展了地形地貌^[18]、地质构造^[19]、古气候古环境^[20-21]以及灾害地质^[22]等一系列研究工作。相对而言,安达曼海东南部陆架相关研究较为薄弱,尤其在沉积物组成、物质来源、输运趋势及其影响因素方面缺乏系统的研究。

通过沉积物粒度分析,在认识研究区沉积物空间分布规律的基础上,本文使用目前应用较为广泛的 Gao-Collins 方法对安达曼海东南部区域进行粒径趋势分析,旨在了解区内沉积物组成和分布特征,分析河流入海物质的输运过程和机制,对于探讨东印度洋边缘海现代沉积过程有重要的科学意义。

2 材料与方法

2012 年 11—12 月,自然资源部第一海洋研究所与泰国普吉海洋生物中心组织开展了首次中-泰安达曼海联合调查航次,本次调查使用泰方“M.V. SEAFDEC”号调查船,在安达曼海东南部泰国专属经济区内获取了 106 个表层沉积物样品。所有样

品均通过箱式取样器采集,具体取样站位见图 1b,除 8 个生物碎屑沉积站位外,其余 98 个站位表层沉积物使用激光粒度仪进行粒度分析。

粒度分析选用每个站位 0~5 cm 的表层沉积物样品,分别使用 30% 双氧水、1 mol/L 稀盐酸、1 mol/L 碳酸钠溶液去除有机质、碳酸盐和生物硅,之后用离心法将处理后的样品进行洗盐至中性,最后经超声波振荡分散后使用 Mastersizer 2000 型激光粒度仪进行粒度分析测试。上机测试时随机选取 10% 的样品进行平行样测试,分析误差为 $0.002\Phi \sim 0.098\Phi$,样品预处理和测试分析在自然资源部海洋地质与成矿作用重点实验室完成。使用 McManus 矩法^[23]计算平均粒径、分选系数和偏态系数等粒度参数,采用福克分类法^[24]进行表层沉积物定名,最后根据不同站点沉积物福克定名以及生物碎屑沉积的分布情况,结合海底地形地貌特征绘制研究区沉积物类型分布图。

沉积物粒径趋势分析使用 POIZOT 和 MÉAR^[25]开发的 eCSedTrend 软件,该程序基于 Gao-Collins 粒径趋势分析方法编制,其运行环境为 Linux 系统平台。在粒径趋势分析过程中,特征距离(D_{cr})对分析结果有很大的影响,因此选择合适的特征距离是粒径趋势分析合理与否的关键^[12,26]。本文使用地统计法中的半方差函数和半方差图来分析区内粒

度参数的自相关性, 最终确定特征距离, 即对表层沉积物的平均粒径、分选系数和偏态等参数建立函数^[4,27]:

$$\gamma_h = \frac{1}{2N_h} \times \sum_{i=1}^{N_h} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

式中: γ_h 为半方差值;

h 为样品间距;

N_h 为间距是 h 时数据点对个数;

$Z(x_i)$ 为 x_i 点处的参数值;

$Z(x_i + h)$ 为与 x_i 相距为 h 处的参数值。

在以相应函数模型拟合 γ_h 值随 h 变化曲线建立的半方差图中, γ_h 随 h 的增大而变化, 当 h 增大到某个定值(变程)时, γ_h 达到一个相对稳定的常数(基台值), 当样品间距超过变程时样点间粒度参数不再具有相关性, 此时的 h 值即可作为合适的特征距离^[28]。

3 结果与讨论

3.1 表层沉积物粒度参数及类型分布特征

安达曼海东南部海域表层沉积物以粉砂、砂质粉砂和粉砂质砂为主。其中, 粉砂主要分布于研究区东南部, 在西南局部地区也有分布, 平均粒径为 $6.1\Phi \sim 7.5\Phi$, 均值为 6.8Φ , 分选系数 < 1.8 , 西南区偏态为正偏, 东南区正、负偏态均有分布。砂质粉砂沉积主要分布于研究区中部和东南部, 在东北和西北部边缘也有零星分布, 平均粒径为 $4.2\Phi \sim 6.4\Phi$, 均值为 5.6Φ 。其中, 中部区分选系数为 $2.0 \sim 2.6$, 均值为 2.3 , 分选性差, 以负偏态为主; 东南部区分选系数为 $1.7 \sim 2.1$, 均值为 1.9 , 较中部区分选稍好, 以正偏态为主。粉砂质砂沉积主要分布于研究区北部, 在普吉岛以南、阁达鲁道岛西北以及内陆架坡折带南缘也有少量分布, 平均粒径为 $1.98\Phi \sim 4.5\Phi$, 均值为 3.12Φ , 分选系数为 $1.8 \sim 3.1$, 均值为 2.3 , 分选性差, 偏态为正偏。生物碎屑沉积呈 SN 向条带状分布于研究区中部内陆架坡折带(200 m 等深线), 个别站位可见少量珊瑚和砾石。泥和砂仅零星分布于研究区西北部和北部边缘(图 2)。

综合安达曼海东南部地形、地貌以及沉积物类型分布特征, 将研究区大致划分为残留砂质沉积区、内陆架混合沉积区、丹老阶地粉砂沉积区和陆坡泥质沉积区(图 3)。研究区中部内陆架坡折带上集中

分布有少量的生物碎屑沉积, 生物碎屑含量最高可达 90% 以上, 南亚季风系统在内陆架坡折带处形成周期性上升流并带来低温且富含养分的海水使得这里成为研究区生产力最高的地区^[29]。研究区北部陆架主要为分选性差的粉砂质砂沉积, 是全区粒径最粗的地区, 砂和粉砂含量范围分别为 65%~87% 和 11%~27%, 黏土含量 $< 6\%$, 这些粗粒级沉积物可能为全新世海侵时期的残留砂质沉积, 几乎没有现代沉积覆盖^[16,30]。研究区东南部内陆架混合沉积区受沿岸流和潮流的共同影响, 水动力条件较为复杂, 使得该区沉积物分布有较大的变化: 整体上主要为砂质粉砂沉积, 其中砂含量为 12%~49%, 粉砂含量为 45%~79%, 黏土含量 $< 13\%$, 同时普吉岛东北部的砂质粉砂沉积还表现出由北向南砂含量减少、粉砂和黏土含量增加的特征; 在普吉岛西南部及董里河口地区分布有少量较粗的粉砂质砂沉积(砂: 57%~80%, 粉砂: 25%~40%, 黏土约 3%), 该分布特征可能与董里河以及马瑞河、甲米河、菲拉河、帕连河等一系列沿岸小型河流所携带的入海泥沙相关; 向海方向则出现斑块状分布、粒度较细的粉砂沉积, 砂含量约 4%, 由东南向西北粉砂含量逐渐减少而黏土含量增加, 其中东南部边缘粉砂沉积中粉砂和黏土平均含量分别为 87% 和 10%, 而普吉岛西南部粉砂沉积中二者平均含量分别为 73% 和 21%。研究区西南部丹老阶地主要为粉砂沉积(砂: 1%~7%, 粉砂: 72%~82%, 黏土: 15%~23%), 由西北向东南同样表现出粉砂含量逐渐减少而黏土含量增加的趋势, 粉砂平均含量由 80% 降低为 75%, 黏土平均含量则由 17% 升高到 21%。研究区东部陆坡水深 $> 1\ 000\text{ m}$ 且沉积物单一, 绝大部分为粉砂沉积(砂: 1%~7%, 粉砂: 62%~81%, 黏土: 17%~33%), 仅东北边缘有少量泥质沉积分布, 是研究区粒度最细、分选最好的地区。

3.2 粒径趋势分析结果

在粒径趋势分析过程中, 沉积物样品应处于同一输运体系之内^[4]。由于研究区北部为残留沉积区, 与南部分属不同沉积环境, 同时考虑到边缘效应的影响^[31], 因此只选用图 1b 中虚线内的样品进行粒径趋势分析。

粒度参数半方差函数计算结果显示, 0° 、 45° 、 90° 和 135° 方向变程相近, 其空间异质性为各项同性。图 4 为平均粒径、分选系数和偏态 3 个粒度参

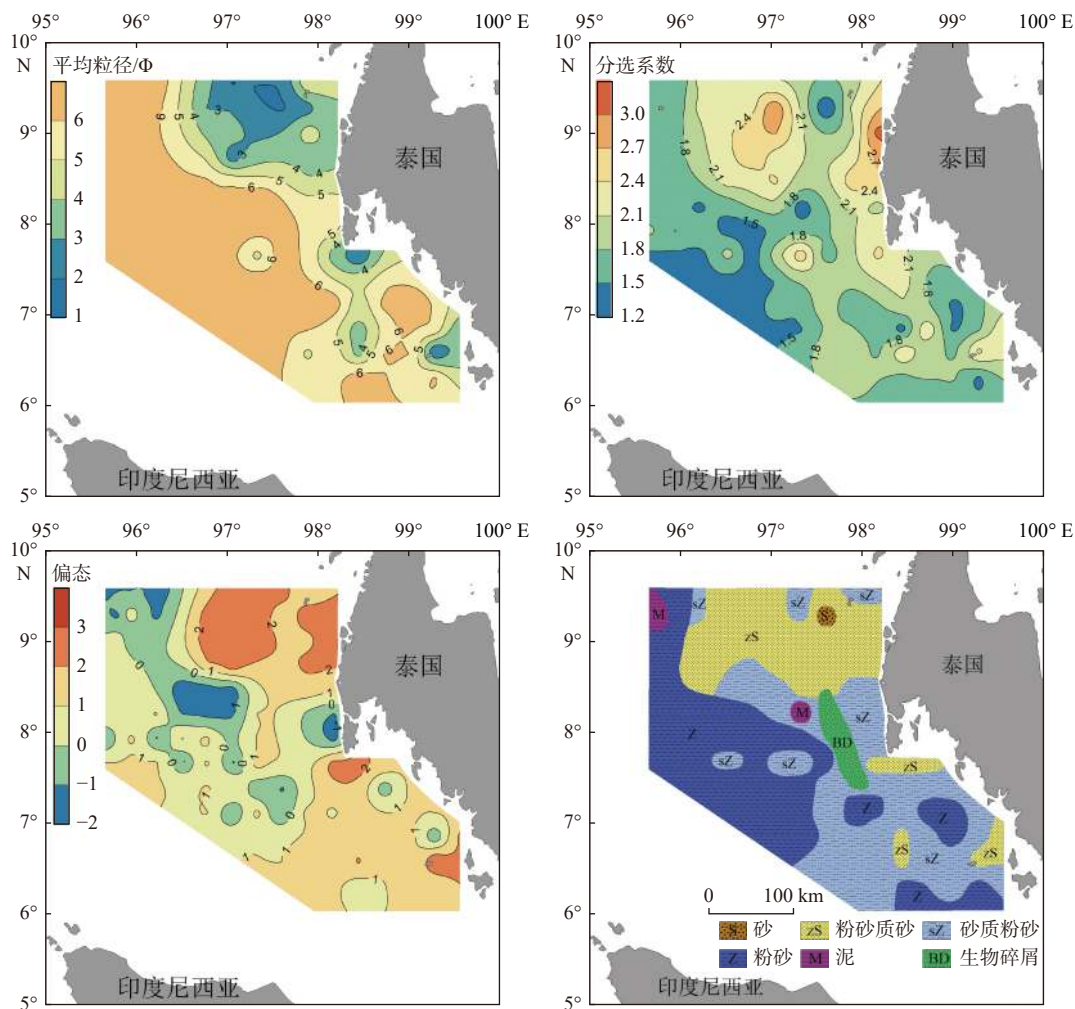
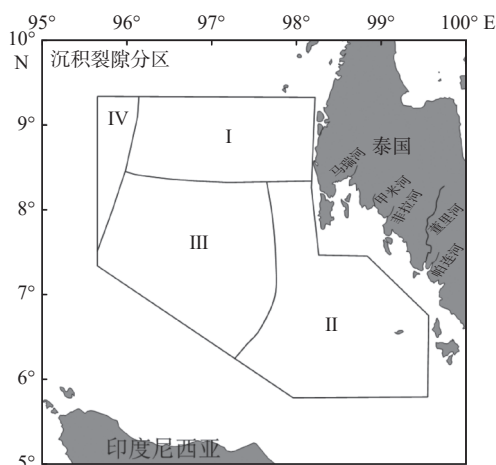


图 2 安达曼海东南部粒度参数分布及沉积物类型

Fig.2 The distribution of grain size parameters and sediment types in the southeastern Andaman Sea



I-残留砂质沉积区; II-内陆架混合沉积区;
III-丹老阶粉砂沉积区; IV-陆坡泥质沉积区

图 3 安达曼海东南部沉积类型分区

Fig.3 The division of sediment types in the southeastern Andaman Sea

数基于球状模型的半方差函数图,其变程分别为 0.81°、0.85°和 0.78°,表明当特征距离 < 0.8°时,研

究区各站点间粒度参数具有明显的空间相关性。因此,本文分别选择 0.5°、0.6°、0.7°和 0.8°作为特征距离进行粒径趋势矢量计算,经 Watson 显著性检验^[25]显示上述特征距离下的计算结果具有显著性。

研究区不同特征距离下沉积物净输运矢量分布如图 5 所示,图中矢量长度仅表示粒径趋势的显著性,不代表搬运速率的大小^[13]。从图中可以看出,当特征距离选取 0.5°、0.6°、0.7°和 0.8°时,研究区沉积物输运趋势总体一致,北部、西北部沉积物分别向南和东南方向输运,而西南部、东南部沉积物则分别向东北和西北方向输运,总体呈现向普吉岛西南部海域汇聚的趋势。

3.3 沉积物来源及其净输运趋势

水体携带的悬浮颗粒物质是现代沉积物的主要来源,因此沉积物粒径趋势分析结果是沉积物物

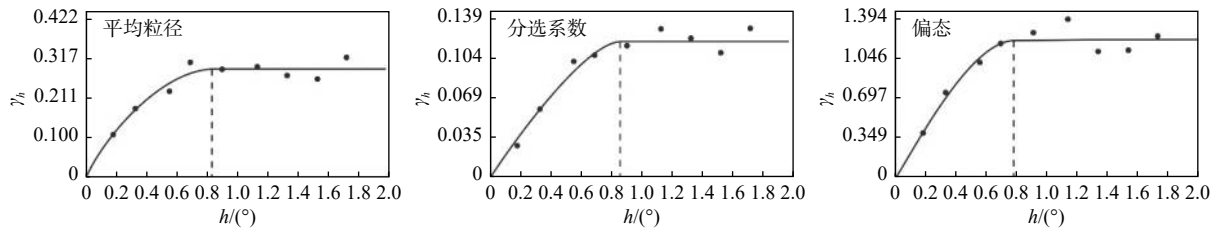


图 4 粒度参数半方差函数图

Fig.4 The semi-variograms for the grain size parameters

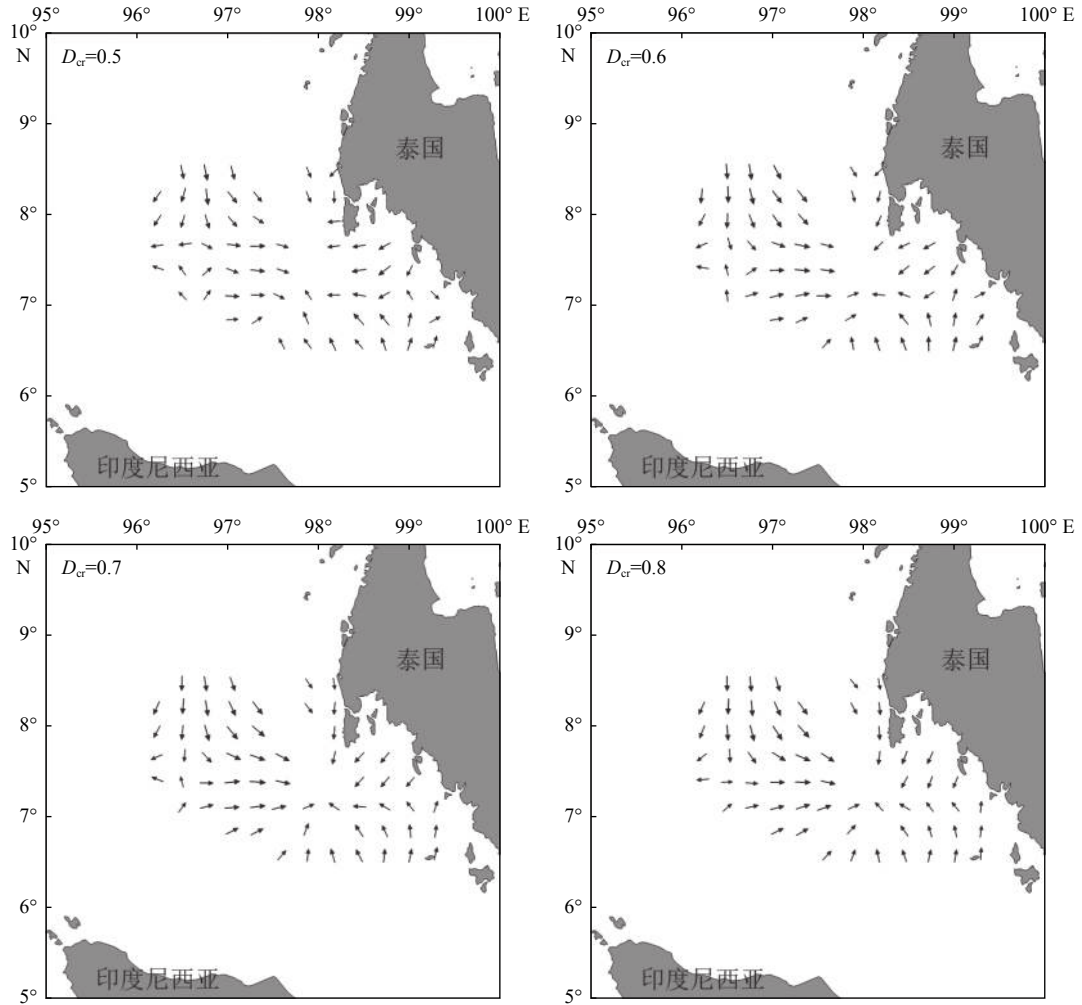


图 5 安达曼海东南部海域表层沉积物净输运矢量分布

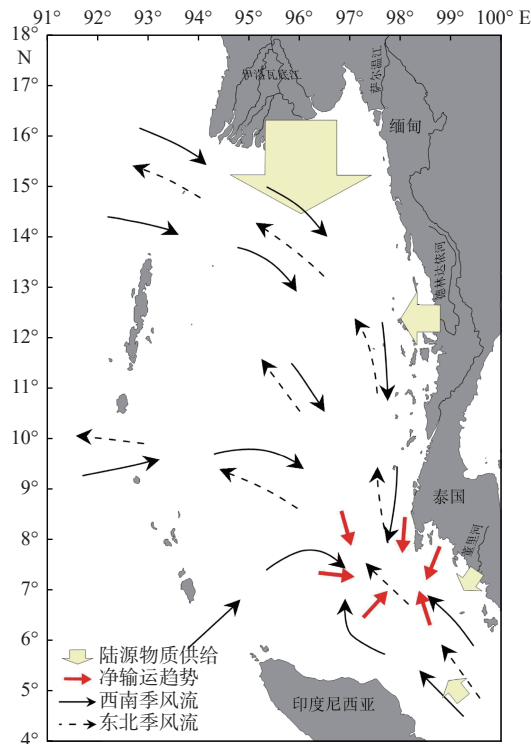
Fig.5 The net transport patterns of surface sediments in the southeastern Andaman Sea

源及流系格局的综合体现。已有研究表明, 安达曼海沉积物主要来自于北部伊洛瓦底江和萨尔温江, 其年均陆源物质输入量分别为 334 和 206 Mt, 陆源入海物质在季风流的控制下可以向南进行远距离的输运, 是研究区细颗粒沉积物的主要来源^[14,16,30]。相对而言, 马来半岛南部较大的彭亨河、吉兰丹河向东汇入泰国湾, 仅有董里河、甲米河、马瑞河等小型河流汇入安达曼海, 陆源物质贡献量相对较小, 沿岸河流所携带泥沙中粗粒级部分在近岸区域沉积, 细粒级部分在季风流和潮流共同影响下, 直接

或通过再悬浮方式向海运移并在内陆架沉积。同时, 安达曼海南部通过马六甲海峡与南海贯通, 连续的水体交换也可能成为研究区潜在的物源区。

安达曼海地处东北印度洋, 由印度季风驱动的季风流是该区沉积物输运的主要控制因素, 其海流强度和方向具有明显的季节性变化特征^[16,32]。东北季风盛行时期(12月—次年2月), 北赤道暖流经由马六甲海峡穿过安达曼海到达斯里兰卡南部^[29], 同时马来半岛沿岸流向北经普雷帕里斯海峡进入孟加拉湾, 形成东北季风流(图 6), 在其驱动下沉积

物呈现由马六甲海峡向西北运移的趋势。此时,东北季风影响下的伊洛瓦底江-萨尔温江流域降水较少,该区域年降雨量、径流量以及泥沙通量仅占全年的 10%~20% 左右^[16,30],部分细粒沉积物由东北季风流带入孟加拉湾,剩余物质受潮流作用影响进入莫塔马湾^[33],因此陆源物质很难到达东南部陆架,研究区整体沉积作用较弱。



季风流修改自文献^[16]

图 6 安达曼海东南部季风流及沉积物净输运趋势

Fig.6 The monsoon currents and net transport patterns of surface sediments in the southeastern Andaman Sea

西南季风盛行时期,丰富的降水极大增强了河流的侵蚀作用,北部伊洛瓦底江和萨尔温江所携带陆源物质供给增强,贡献了全年大约 90% 的陆源物质输入^[14]。在西南向季风流和潮流的共同作用下,粗颗粒物进入莫塔马湾并沉积下来,而细颗粒物逐渐扩散至安达曼海中部^[30,33]。与此同时,南向-西南向季风流与来自马六甲海峡的西北向海流在普吉岛西南部共同形成一个顺时针方向环流^[34-35],一方面改变了沉积物的运移方向,另一方面环流的形成导致水体搬运能力降低,有利于悬浮颗粒物质的沉降,这在研究区细粒沉积物中粉砂和黏土组分含量变化上也有所反映。

由此可见,季节性的物质供给和流系变化导致了水体搬运方向的频繁改变,最终形成普吉岛西南海域的相对低能沉积环境,本文粒径趋势分析所表

现出的沉积中心是研究区物质来源和水动力条件的集中表现。

4 结论

(1) 安达曼海东南部陆架表层沉积物以粉砂、砂质粉砂和粉砂质砂为主,沉积物分布主要受季节性变化的物源供给和季风流的共同影响。综合研究区底质沉积物类型分布和地形、地貌特征,将研究区底质沉积物大致划分为 5 个沉积区:内陆架坡折带为由上升流影响的生产力较高的生物碎屑沉积区;北部陆架为平均粒径 $<4.5\Phi$ 、分选差且正偏的残留砂质沉积区;南部内陆架混合沉积区主要为平均粒径 $4.2\Phi\sim 6.4\Phi$ 、分选性差且正偏态为主的砂质粉砂沉积,其中,普吉岛东北部砂质粉砂表现出由北向南砂含量减少、粉砂和黏土含量增加的特征,在普吉岛西南部及董里河口地区有少量沿岸河流携带泥沙入海形成的粉砂质砂沉积,同时该区还分布有自东南向西北粉砂含量逐渐减少而黏土含量增加的粉砂沉积;丹老阶地粉砂沉积区主要为平均粒径 $>6\Phi$ 、分选系数 <1.8 且自西北向东南粉砂含量逐渐减少而黏土含量增加的粉砂沉积;东部陆坡区以粉砂沉积为主,是研究区粒度最细、分选最好的地区。

(2) 选取地统计方法所确定的特征距离 0.8° 计算了研究区沉积物的净输运趋势,分析结果显示,研究区北部、西北部沉积物分别具有向南和东南方向的输运趋势,而西南部沉积物的输运趋势向东北、东南部沉积物的输运趋势向西北,总体上具有向普吉岛西南部汇聚的趋势。普吉岛西南部低能细粒沉积中心的形成,主要受季节性变化的物源供给、西南季风流以及潮流的控制。

致谢: 自然资源部第一海洋研究所方习生、李小艳、黄元辉、李传顺、胡利民、徐涛玉、于永贵及普吉海洋生物中心员工参加了航次调查,朱影协助进行了粒度分析;东南亚渔业发展研究中心“M.V. SEAFDEC”号调查船全体船员提供了海上调查支持,谨致谢忱。

参考文献:

- [1] 高抒, COLLINS M. 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.
- [2] McLaren P, BOWLES D. The effects of sediment transport on grain-size distribution[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1985,

- 55: 457-470.
- [3] McLaren P, HILL S H, BOWLES D. Deriving transport pathways in a sediment trend analysis (STA) [J]. *Sedimentary Geology*, 2007, 202: 489-498.
 - [4] 高抒. 沉积物粒径趋势分析: 原理与应用条件[J]. *沉积学报*, 2009, 27(5): 826-836.
 - [5] LE ROUX J P, ROJAS E M. Sediment transport patterns determined from grain size parameters: overview and state of the art[J]. *Sedimentary Geology*, 2007, 202(3): 473-488.
 - [6] ZHANG W, ZHENG J H, JI X M, et al. Surficial sediment distribution and the associated net sediment transport pattern in the Pearl River Estuary, South China[J]. *Continental Shelf Research*, 2013, 61/62: 41-51.
 - [7] 王国庆, 石学法, 刘焱光, 等. 粒径趋势分析对长江南支口外沉积物输运的指示意义[J]. *海洋学报*, 2007, 29(6): 161-166.
 - [8] DUMAN M, AVCI M, DUMAN S, et al. Surficial sediment distribution and net sediment transport pattern in İzmir Bay, western Turkey[J]. *Continental Shelf Research*, 2004(24): 965-981.
 - [9] 王华强, 高抒. 杭州湾北岸高潮滩沉积与沿岸物质输运趋势[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2007, 27(6): 25-30.
 - [10] PLOMARITIS T A, PAPHITIS D, COLLINS M. The use of grain size trend analysis in macrotidal areas with breakwaters: implications of settling velocity and spatial sampling density[J]. *Marine Geology*, 2008, 253: 132-148.
 - [11] 高建华, 高抒, 陈鹏, 等. 海南岛博鳌港沉积物的沿岸输送[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2002, 22(2): 41-48.
 - [12] 石学法, 陈春峰, 刘焱光, 等. 南黄海中部沉积物粒径趋势分析及搬运作用[J]. *科学通报*, 2002, 47(6): 452-456.
 - [13] 刘升发, 刘焱光, 朱爱美, 等. 东海内陆架表层沉积物粒度及其净输运模式[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2009, 29(1): 1-6.
 - [14] RAMASWAMY V, GAYE B, SHIRODKAR P V, et al. Distribution and sources of organic carbon, nitrogen and their isotopic signatures in sediments from the Ayeyarwady (Irrawaddy) continental shelf, northern Andaman Sea[J]. *Marine Chemistry*, 2008, 111: 137-150.
 - [15] PETER G, WEEKS L A, BURNS R E. A reconnaissance geophysical survey in the Andaman Sea and across the Andaman-Nicobar Island Arc[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1966, 71(2): 495-509.
 - [16] RODOLFO K S. Sediments of the Andaman Basin, Northeastern Indian Ocean[J]. *Marine Geology*, 1969, 7: 371-402.
 - [17] FRERICHS W E. Planktonic foraminifera in the sediments of the Andaman Sea[J]. *Journal of Foraminiferal Research*, 1971, 1(1): 1-14.
 - [18] JINTASAERANEE P, WEINREBE W, KLAUCKE I, et al. Morphology of the Andaman outer shelf and upper slope of the Thai exclusive economic zone[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, 46: 78-85.
 - [19] CURRAY J R. Tectonics and history of the Andaman Sea region[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2005, 25: 187-232.
 - [20] SIJINKUMAR A V, NATH B N, GUPTHA M V S. Late Quaternary record of pteropod preservation from the Andaman Sea[J]. *Marine Geology*, 2010, 275: 221-229.
 - [21] RASHID H, FLOWER B P, POORE R Z, et al. A ~25ka Indian Ocean monsoon variability record from the Andaman Sea[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2007, 26: 2586-2597.
 - [22] PRENDERGAST A, CUPPER M L, Jankaew K, et al. Indian Ocean tsunami recurrence from optical dating of tsunami sand sheets in Thailand[J]. *Marine Geology*, 2012, 295-298: 20-27.
 - [23] McManus J. Grain size determination and interpretation [C]// *Techniques in Sedimentology*. Oxford: Blackwell, 1988: 63-85.
 - [24] FOLK R, ANDREWS P, LEWIS D. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand[J]. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 1970, 13(4): 937-968.
 - [25] POIZOT E, MÉAR Y. eCSedtrend: a new software to improve sediment trend analysis[J]. *Computers & Geosciences*, 2008, 34(7): 827-837.
 - [26] 贾建军, 程鹏, 高抒. 利用插值趋势分析采样网格对粒度趋势分析的影响[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2004, 24(3): 135-141.
 - [27] 乔淑卿, 石学法, 王国庆, 等. 渤海底质沉积物粒度特征及输运趋势探讨[J]. *海洋学报*, 2010, 32(4): 139-147.
 - [28] POIZOT E, MÉAR Y, THOMAS M, et al. The application of geostatistics in defining the characteristic distance for grain size trend analysis[J]. *Computers & Geosciences*, 2006, 32: 360-370.
 - [29] Brown B E. Coral reefs of the Andaman Sea-an integrated perspective[C]// *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, Vol. 45. New York: Taylor & Francis, 2007: 173-194.
 - [30] RAO P S, RAMASWAMY V, THWIN S. Sediment texture distribution and transport on the Ayeyarwady continental shelf, Andaman Sea[J]. *Marine Geology*, 2005, 216: 239-247.
 - [31] 程鹏, 高抒. 北黄海西部海底沉积物的粒度参数特征和净输运趋势[J]. *海洋与湖沼*, 2000, 31(6): 604-605.
 - [32] WYRTKI K. Physical oceanography of the Indian Ocean[C]// *The Biology of the Indian Ocean*. Berlin: Springer Verlag, 1973: 18-36.
 - [33] RAMASWAMY V, RAO P S, RAO K H, et al. Tidal influence on suspended sediment distribution and dispersal in the northern Andaman Sea and Gulf of Martaban[J]. *Marine Geology*, 2004, 208: 33-42.
 - [34] VARKEY M J, MURTY V S N, SURYANARAYANA A. Physical oceanography of the Bay of Bengal and Andaman Sea[J]. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 1996, 34: 1-70.
 - [35] SUWANNATHATSA S, WONGWISES P, VONGVISESSOM-JAI S, et al. Phytoplankton tracking by oceanic model and satellite data in the Bay of Bengal and Andaman Sea[J]. *APCBEE Procedia*, 2012, 2: 183-189.

Grain size characteristics of surface sediments and net transport patterns in the southeastern Andaman Sea

CAO Peng^{1,2}, LIU Shengfa^{1,2*}, YANG Gang^{1,2}, ZHANG Hui^{1,2}, KHOKIATTIWONG Somkiat³,
KORNKANITNAN Narumol³, SHI Xuefa^{1,2}

(1 Key Laboratory of Marine Geology and Metallogeny, First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266061, China;
2 Laboratory for Marine Geology, Laoshan Laboratory, Qingdao 266061, China; 3 Marine and Coastal Resources Research and Development Institute,
Department of Marine and Coastal Resources, Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok 10210, Thailand)

Abstract: The grain size of seafloor sediments is the most direct indicator of hydrodynamic pattern, which could effectively indicate the transport process of terrestrial detritus material at different time scales. Grain size was analyzed with the Malvern Mastersize 2000 particle size analyzer for 98 surface sediment samples collected from the southeast continental shelf, Andaman Sea. Results show that sediments on the southeast continental shelf could be divided into four categories: silty sand, sandy silt, silt, and mud. The grain size distribution of the study area revealed four distinct zones in terms of sediment texture: the northern shelf zone with relict sands; the southern inner shelf zone of mixed sediments with silty sand, sandy silt and silt; the Mergui Terrace zone with silt; and the continental slope zone with fine-grained and well-sorted mud. Based on the grain size analysis and Gao-Collins grain size trend analysis, the net transport patterns in the study area were discussed. The characteristic distance was defined less than 0.8° by geostatistical analysis and the results indicate that southwest area near Phuket was the depositional center of the southeastern Andaman Sea and the sediments displayed a net transport trend toward it. It was believed that the distribution and transport pattern of sediments in the study area were controlled by source supply, southwest monsoon currents, and tidal movement.

Key words: sediment; grain size; sedimentary process; trend analysis; Andaman Sea