

文章编号: 1000-0550(2013)01-0130-09

珠江口及琼东北海区元素地球化学特征及物质来源^①

陈亮^{1,2} 张玉芬¹ 李团结² 许冬³

(1. 中国地质大学地球物理与空间信息学院 武汉 430074;

2. 国家海洋局南海工程勘察中心 广州 510300; 3. 国家海洋局第二海洋研究所 杭州 310012)

摘要 为了更好的了解南海北部近陆表层沉积物特征及分布,通过对珠江口至海南岛东北海区进行表层沉积物取样测试,共获取了约3 500个样品粒度数据,700余个样品元素地球化学数据。该区域沉积物粒度以粉砂及细砂为主,分选性为较差及差,沉积物常量元素组合以SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、CaO、K₂O、MgO及Na₂O为主,这7种氧化物占沉积物总量的90%以上(平均值)。对沉积物常量元素百分含量值进行了相关性分析,最终将调查海域沉积物划分为3个不同的区域,分别为珠江口及粤西区域(I)、琼州海峡东分布区(II)及琼东分布区(III),同时综合分析得出了各区域沉积物运移的路径趋势。

关键字 常量元素 粒度 沉积物 珠江口 琼东北海区

第一作者简介 陈亮 男 1981年出生 博士研究生 海洋沉积环境 E-mail: randal34@163.com

通讯作者 张玉芬 E-mail: zhyfcug@163.com

中图分类号 P736.211 文献标志码 A

珠江位于我国大陆南端,其由西江、东江及北江所组成,流经滇、黔、桂、粤、湘、赣等省(区),于广东省中南部由八大口门注入南海,珠江为我国第三大河流,但径流量仅次于长江,其年平均径流量为 $3\ 124 \times 10^9\ \text{m}^3$,每年携带约 $8\ 872 \times 10^4\ \text{t}$ 的悬沙向海输送^[1]。由于河口为海陆交互影响最强的地带,河流携带大量的泥沙入海沉积,研究入海泥沙的沉积范围及趋势对航运、港口及码头建设等海洋经济建设具有十分重要的意义,同时,由于内陆污染物大多吸附于泥沙上被搬运入海,因此此项研究也能为海洋环境保护提供参考。

当前对珠江口沉积物地球化学的研究已非常多,但大多集中在珠江口区域^[2~8],对珠江口西部区域的元素地球化学研究较少。根据之前的研究,珠江口物质在沿岸流的运输下,能够到达粤西海域及雷州半岛东侧^[1,9],因此,有必要将粤西海区及珠江口海区进行成片分析,更有助于对珠江口物质扩散的了解;同时位于该区西南部的琼东北海区目前还未见有详细的元素地球化学研究,本次分析填补了该区域的研究空白。

1 采样和测试方法

1.1 样品采集

本次采样区域共分为三个区域,分别为珠江口

内、珠江口外及粤西海区。由南海工程勘察中心于2004年、2005年及2008年完成大部分取样工作,其中粤西部分海域取样工作由海洋二所于2008年完成。采用的采样工具主要为箱式采样器及蚌式采样器,采取样品为表层(0~10 cm)沉积物,根据技术规程要求,采样间隔主要有3 km、5 km及10 km 3类,共取得表层样品约3 500个,约3 500个样品进行了粒度测试,700多个样品进行了元素地球化学测试(图1)。

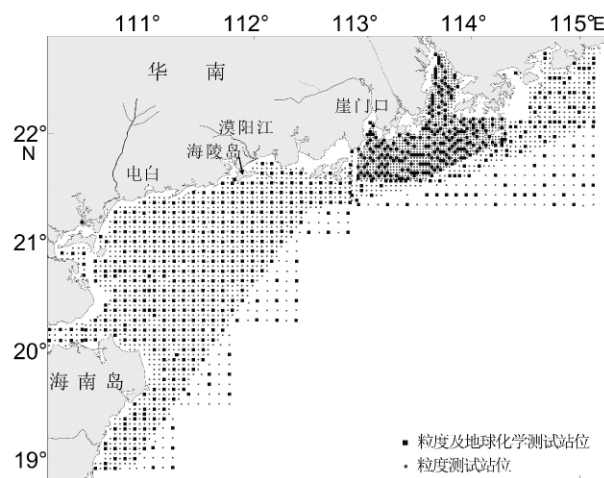


图1 调查及测试站位分布图

Fig. 1 The distribution of survey and test stations

^①我国近海海洋综合调查与评价专项(908-01-CJ14, 908-01-CJ15, 908-01-CJ16, 908-01-CJ17) 国家海洋局南海分局海洋科学技术局长基金(1315)联合资助。

收稿日期: 2012-03-09; 收修改稿日期: 2012-06-13

1.2 测试分析方法

本次所使用数据主要有粒度及元素地球化学数据, 所采用的方法均按照《我国近海海洋综合调查与评价专项 海洋底质调查技术规程》执行。沉积物粒度由南海工程勘察中心实验室完成, 细粒部分采用 Mastersizer 2000 型激光粒度仪进行分析, 首先去除样品中有机质、钙质胶结物及生物壳体, 然后加入偏磷酸钠用超声波振荡使样品分散后上机测试, 粗粒部分采用筛析法分析。元素地球化学测定由国土资源部武汉矿产资源监督检测中心及国土资源部地球物理地球化学勘查研究所完成。每个样品取约 25 g 置于洁净表面皿中, 自然晾干后放入烘箱, 在 $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下进一步烘干, 然后用玛瑙研钵将沉积物样磨碎, 过 80 目 (0.1875 mm) 尼龙网筛, 收集小于 80 目的沉积物样品, 采用 x 射线荧光光谱仪 (PW2440) 测定沉积物中常量元素的含量, 测量精度 MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 、 MnO 、 TiO_2 、 P_2O_5 优于 0.05%, SiO_2 、 Al_2O_3 及 Fe_2O_3 测量精度优于 0.1%, 测量误差均不大于 0.7%。

2 结果分析

2.1 沉积物特征

图 2 是对该区域粒度特征统计分析后作出的沉积物平均粒径分布图, 图中粒级标准采用尤登—温德华氏等比制 ϕ 值粒级标准, 可以看出, 平均粒径大多在 $3\phi \sim 8\phi$ 之间。采用谢帕德分类命名法对所有沉积物命名后发现, 由于研究区域范围较广, 沉积物类型较多, 但主要以粉砂为主。珠江口内及以西至上川岛近岸区域主要为粘土质粉砂, 珠江口外以东海区沉积物类型主要为粉砂, 珠江口外南部区域沉积物粒度变粗, 沉积物类型主要为砂及粉砂质砂; 上川岛以西近岸区域至琼州海峡东口以东海域沉积物类型主要为粉砂及粘土质粉砂, 上川岛南部外海区域至海南岛东部海域呈北东—南西向分布有大片砂质粉砂及粉砂质砂; 琼州海峡内及东口沉积物类型以砂为主, 部分区域含有少量砂砾。

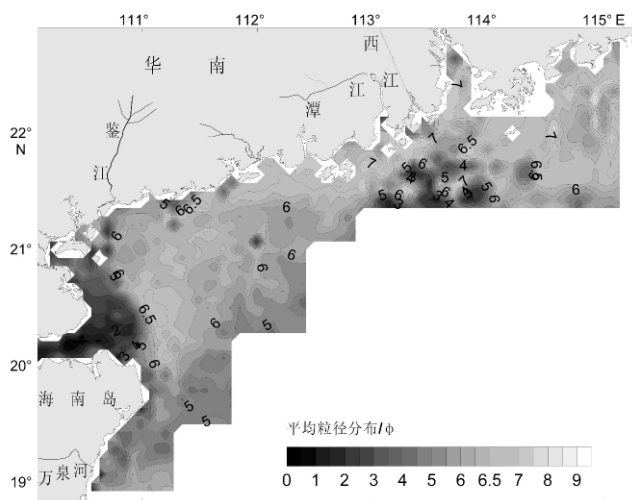


图 2 沉积物粒度特征图(平均粒径/ ϕ)

Fig. 2 The distribution of sediment grain size (M_z/ϕ)

2.2 常量元素分布特征

由表 1 可见, 调查区域常量元素主要由 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 K_2O 、 MgO 及 Na_2O 组成, 这 7 种氧化物占沉积物总量的 90% 以上(平均值), 其中 SiO_2 及 Al_2O_3 平均含量较高, 其它较低, 分别为: SiO_2 (61.94%) > Al_2O_3 (13.55%) > Fe_2O_3 (5.77%) > CaO (3.43%) > K_2O (2.23%) > MgO (1.91%) > Na_2O (1.79%) > TiO_2 (0.73%) > P_2O_5 (0.12%) > MnO (0.76%)。

图 3 是各元素含量的空间分布图, 对比这些元素分布情况可见: (1) SiO_2 的平面分布图与其它元素的分布趋势具有很大的差异, 基本为负相关, 主要由于 SiO_2 为该区域主导元素, 为其它元素的“稀释剂”所造成^[10, 11], 对比 SiO_2 平面分布图与粒径分布图可以发现 SiO_2 的含量大小与粒径粗细具有很好的一致性, 说明该区域粗粒沉积物的矿物成份主要为石英; (2) Al_2O_3 、 P_2O_5 、 K_2O 、 TiO_2 、 MnO 、 Fe_2O_3 的平面分布图具有一定的相似性, 大多呈现了由珠江口向外海减少的趋势, 且多种元素指示在琼州海峡东部存在一高值中心; (3) CaO 的平面分布图与其它元素具有很大的差

表 1 调查区域表层沉积物常量元素统计(%)

Table 1 Compositions of major element in the surface sediments(%)

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	K_2O	MgO	Na_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO
最小值	13.70	0.44	0.63	0.07	0.09	0.16	0.13	0.03	0.01	0.00
最大值	96.71	22.51	30.75	43.23	3.73	3.55	4.57	1.94	0.41	0.76
平均值	61.94	13.55	5.77	3.43	2.23	1.91	1.79	0.73	0.12	0.08
变异系数	14.92	34.69	53.38	28.63	27.35	31.94	27.93	39.73	33.33	50.00

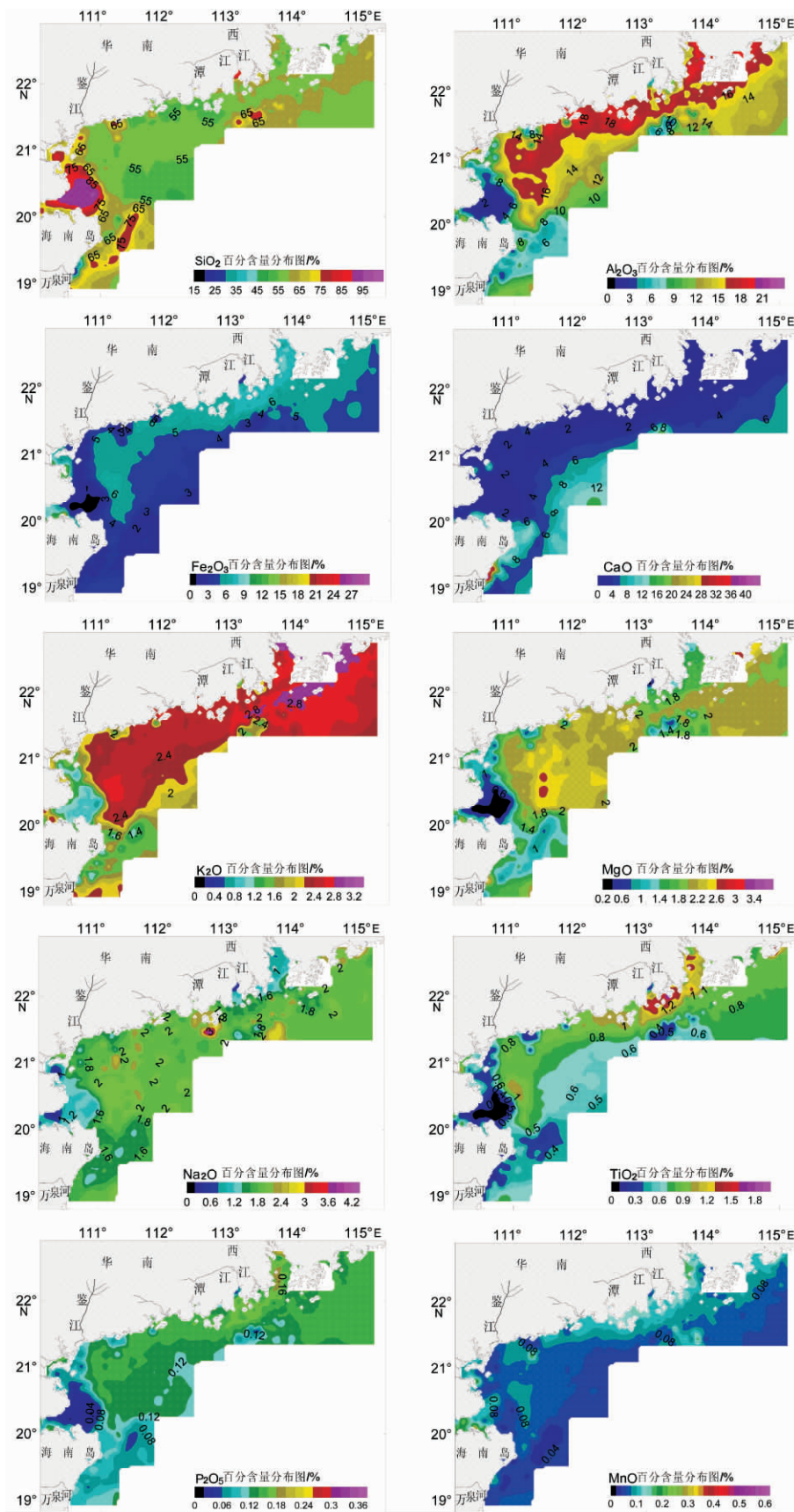


图3 常量元素平面分布特征

Fig. 3 The distribution of major element

表 2 常量元素相关性分析(样品数 $n = 742$)

Table 2 The relativity of major element

	M_Z/ϕ	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃
M_Z/ϕ	1.00										
Na ₂ O	0.20	1.00									
MgO	0.57	0.66	1.00								
Al ₂ O ₃	0.68	0.38	0.79	1.00							
SiO ₂	-0.60	-0.47	-0.88	-0.79	1.00						
P ₂ O ₅	0.64	0.29	0.72	0.91	-0.80	1.00					
K ₂ O	0.57	0.40	0.72	0.89	-0.67	0.82	1.00				
CaO	-0.17	0.08	0.07	-0.40	-0.23	-0.25	-0.39	1.00			
TiO ₂	0.58	0.10	0.50	0.81	-0.58	0.86	0.70	-0.44	1.00		
MnO	0.17	-0.19	0.04	0.31	-0.18	0.41	0.27	-0.27	0.44	1.00	
Fe ₂ O ₃	0.56	-0.02	0.45	0.72	-0.53	0.76	0.63	-0.36	0.79	0.68	1.00

Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

异, 高值区主要位于调查区域的东南部及海南岛东侧, 说明该区域 CaO 主要来自于海源生物作用的影响; (4) MgO 的高含量区域主要位于香港东南侧及粤西中部海域, 与沉积物细粒组分具有较好的对应, 说明 MgO 主要赋存于细粒沉积物之中, 而同为细粒沉积物的珠江口内 MgO 含量并不高, 说明该区域 MgO 受海源作用影响较大, 且主要以被吸附的形式存在于粘土矿物中。(5) Na₂O 的平面分布与其它元素也存在一定差异, 既没有表现出由珠江口向外升高, 也不具备由外海向近海升高的趋势, 在川岛南侧存在小片的高值区, 其它区域也零散分布有数个亚高值区, 珠江口内及崖门口内 Na₂O 含量均不高, 说明径流对 Na₂O 的输入贡献并不大, 但在部分近岸区域其含量较高, 说明 Na₂O 来源应受到海源及陆源的共同影响。(6) 由平面分布图可以看出, 大多数常量元素的分布与沉积物粒径具有一定的相关性, 反映了在该区域“元素的粒度控制律”^[10, 12], 而沉积物粒径主要反映了水动力强弱, 说明水动力对该区域元素的迁移及富集具有十分重要的作用。

2.3 沉积物元素相关性分析

应用 SPSS 软件对调查区域内表层沉积物平均粒径及常量元素进行相关性分析(表 2), 结果表明 SiO₂ 及 CaO 含量与中值粒径(ϕ) 负相关, 其它元素均为正相关, 说明随着粒度的变粗, SiO₂ 及 CaO 的含量逐渐升高, 而其它元素更趋向于存在细粒的沉积物中。其次, SiO₂ 与所有元素均呈负相关, 由于 SiO₂ 在沉积物中占主导, 其含量的高低直接影响其它元素含量的变化。Al₂O₃、P₂O₅、K₂O、TiO₂、MnO、Fe₂O₃、MgO 相互之间均为正相关, 沉积物中的 Ti 在表生作用中比较稳定, 属于惰性元素, 因此可以作为陆源碎屑组分的

指标^[13, 14], Al₂O₃、P₂O₅、K₂O 与 TiO₂ 具有较好的相关性, 说明该海区这几种元素更倾向于被陆源输入物质所控制。CaO 与大多数元素为负相关, 且相关性均较低, 反映了海源的钙质生物来源, Na₂O 与大多数元素相关性不明显, 反映了其来源的复杂性。

2.4 沉积物元素地球化学分区及物源分析

为了更好的反映该区域沉积物分区及物源状况, 采用快速聚类法对样品进行分类, 共生成 5 类汇聚中心, 由于第 2 类及第 4 类汇聚中心各自分别仅有 2 个站位, 可以将其看作一种扰动, 因此该区域沉积物主要可以分为 3 类(图 4)。同时, 在调查海域中选取 5 处代表性小区块(图 4) A、B、C、D、E 进行分析, 每一小区块选取约 5 个站位常量元素数据进行统计分析, 选取平均值代表所在区域的常量元素含量(表 3)。通过对 5 处代表性小区块常量元素含量作图分析后,

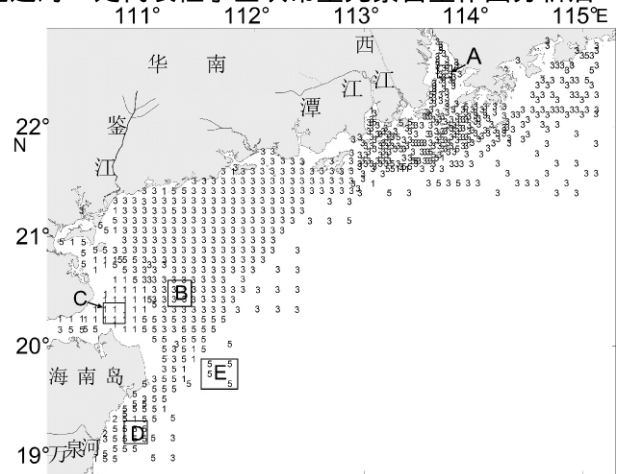


图 4 聚类分析结果图

Fig. 4 The result for cluster analysis

图中数字为各汇聚中心序号, 方框为 5 个代表性小区块。

表3 各区块常量元素含量(%)

Table 3 The content of major element for different place(%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	MnO
A处均值	56.97	18.45	7.79	2.64	1.57	1.22	1.00	0.80	0.17	0.10
B处均值	56.41	16.14	5.62	2.62	2.31	0.82	2.14	3.72	0.13	0.07
C处均值	92.33	1.54	0.83	0.93	0.28	0.05	1.21	1.73	0.02	0.07
D处均值	72.94	6.36	2.91	1.55	1.18	0.41	1.48	6.28	0.07	0.04
E处均值	65.63	6.37	2.82	1.53	1.43	0.41	1.60	10.52	0.08	0.05
南海中部[15]	43.53	13.13	4.73	2.54	1.14	0.44	3.73	9.71	0.17	1.14
中国大陆[16]	64.18	11.00	4.50	2.17	2.01	0.70	1.70	3.11	-	0.08
海南岛花岗岩[17]	70.66	13.62	3.37	3.56	0.71	0.28	2.79	1.95	0.08	0.08
太平洋[18]	54.90	16.60	7.70	2.70	3.40	0.78	1.30	0.70	0.25	0.56

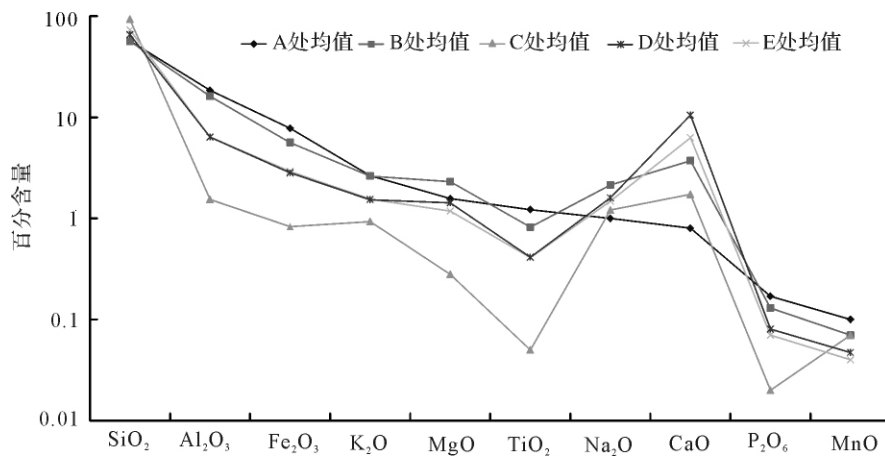


图5 所选区块常量元素曲线对比图

Fig. 5 The graph of major element for each select area

发现(图5), A、B两处“亲陆”元素含量及变化趋势具有较好的一致性,说明A区及B区陆源组分具有同源性;C区各元素无论在含量及变化趋势上与其它区域元素均具有较大差异,说明C区所在海域沉积物来源具有自身的特点;D区及E区各元素含量及变化趋势非常接近,尤其海源物质CaO均大于其它区域,说明D区及E区在成因上具有一定的相似性。

综合考虑各元素的平面分布特征及所选区域的对比分析,同时结合该区域海流分布状况,将该区域沉积物分为3个区域,分别为珠江口及粤西区域(I)、琼州海峡东分布区(II)及琼东分布区(III)(图9),该区域春夏季悬浮体特征分布也显示该海区大体存在3个不同悬浮体分布区^[19]。各区特点大致为:

I区所占面积最广,位于珠江口及粤西大部分区域。该区域沉积物来源及分布主要受珠江水系物源控制,河流入海后,由于流速减缓,其所携带的泥沙大量沉积,首先沉积的为底层的推移质及跃移质,该部分物质主要沉积在入海口及附近区域,沉积下来的主

要为SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、K₂O、TiO₂、MnO等陆源物质,大量的悬移质伴随海流的运动被运输到较远的区域。由于受到该区域西向沿岸流的影响^[20-21],珠江入海物质主要向西向输送,少部分向东及向南输送。珠江入海后所携带的大部分泥沙沉积在伶仃洋至上川岛东部,由于大量的跃移质及悬移质沉积于此,使得沉积物粗细混杂,该区域为珠江入海泥沙的主要沉积区域,该处TiO₂及MnO存在明显由近岸向远海减小的趋势,具有明显的陆源沉积特征。沿岸流通过川岛之后,由于在海陵岛和漠阳江口之间的外海有一股沿底部向岸涌升的陆架高盐海水^[20],咸淡水在此处交汇,由悬浮体分析可以发现该处底层悬浮体浓度及浊度值均较高^[19],说明海水中的胶体及细粒物质在此处发生絮凝而大量沉积,细粒物质的大量沉积导致了该区域Al₂O₃含量的升高。珠江口物质经过海陵岛后继续向西运输,到达放鸡岛南部后部分转为南向运输,最终沉积在雷州半岛及琼州海峡东部,少量会继续向南到达海南岛东北部,由于该区域悬浮体浓度

及浊度值均较低^[19],说明沉积物主要以胶体及溶解态搬运至此,TiO₂含量在该区域出现了一定的升高,主要由于细粒物质的大量沉积所引起,TiO₂空间分布及含量变化较好反应了珠江口陆源物质的沉积范围及运移路径。

Ⅱ区位于琼州海峡内及其东侧,向北可延伸至雷州半岛东部,由于琼州海峡为一冲刷性海槽^[22 23],该区沉积物主要由海峡内潮流冲刷所携带而来,由于流速较大,该区沉积物粒度较粗,平均粒径多在 2.5φ 以下,沉积物类型多为中粗砂。元素组成以 SiO₂ 为主,大部分区域达 90% 以上,由于 SiO₂ 的高含量,使得其它元素在该区域含量偏少。将该区域常量元素分布与海南岛花岗岩对比分析(图 6)后发现,除了 SiO₂ 外,其它常量元素含量均低于海南岛花岗岩,且变化趋势基本一致(CaO 由于海洋生物作用的加入,其总量只是略微减少;MnO 由于密度较大,不易被搬

运出海峡口,其含量变化也不大),说明Ⅱ区沉积物主要来自于琼州海峡两侧及槽底碎屑物质。

Ⅲ区位于海南岛东北部,北端以狭长带延伸至琼州海峡东口东南面,Ⅰ区在该区北部逐渐尖灭。Ⅲ区元素组合特征与其它两个区域具有较大差异,最突出在于该区域 CaO 含量远高于其它区域,尤其近陆一侧 CaO 含量较高,海南岛东部近岸分布有大面积珊瑚礁,生物作用强烈,说明该区域受海源生物作用明显。将该区域常量元素含量与南海中部、中国大陆及太平洋区域常量元素对比分析后(图 7)发现,该区域常量元素含量及分布与南海中部及中国大陆相似度高,与大洋沉积物相似度低,说明该区域沉积物仍主要来源于周边陆源物质的输入。根据前人研究可知^[24],该区域外海一侧存在大量晚更新世冰期低海面时的残留沉积物,说明该区域沉积物以早期沉积为主,同时受后期海洋生物作用改造明显。

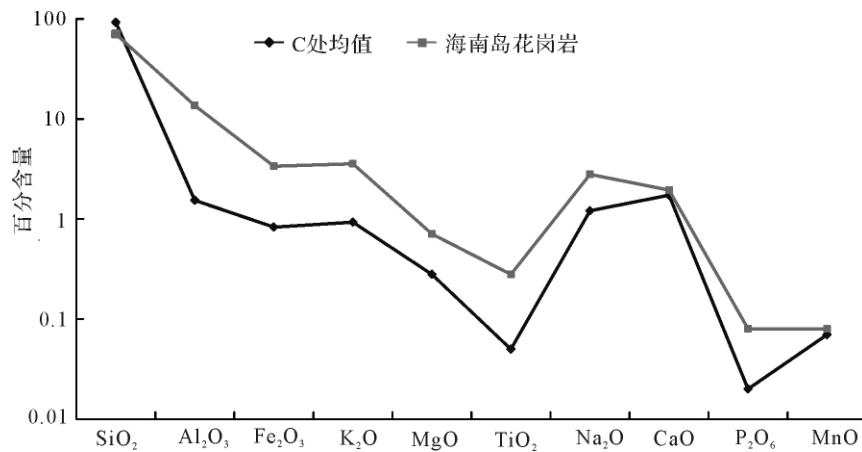


图 6 C 处及海南岛花岗岩常量元素曲线对比图

Fig. 6 The graph of major element for C and the granite in Hainan island

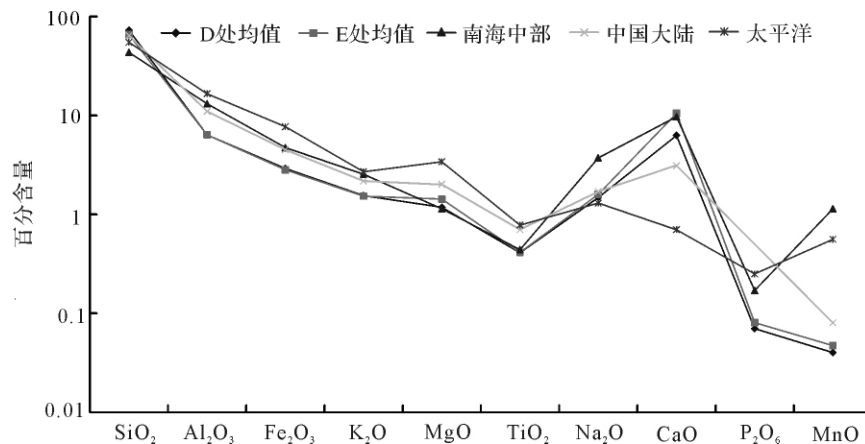


图 7 Ⅲ区与部分地区常量元素曲线对比图

Fig. 7 The graph of major element for Ⅲ area and some place

根据沉积物的物源分区,结合该区域海流状况(图8)及前人研究^[1,9],综合分析得出沉积物输运路径(图9)。具体为:Ⅰ区沉积物在珠江口入海后,呈辐射状向外海输运,少部分向东输运,部分向南,大部分在沿岸流的驱动下向粤西输运,输运路径紧贴海岸带,到达电白外海后转向南输运,该输运路径较长,多种元素指示性一致;Ⅱ区沉积物主要由琼州海峡内向口外呈放射状输运,输运路径较短;Ⅲ区沉积物输运路径并不太明显,由于该区域海洋自生作用较强,且外海区域陆源物质以早期沉积为主,故输运路径并不显著。

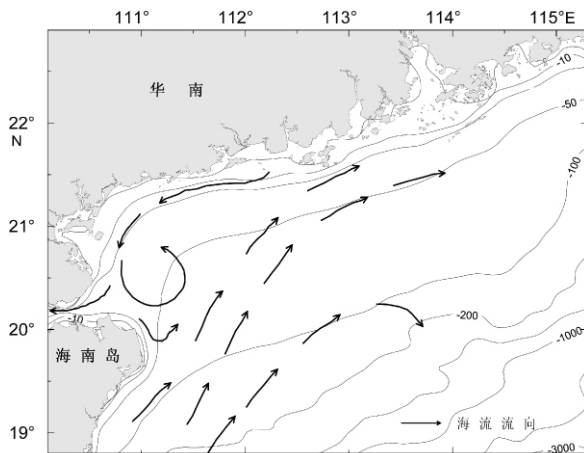


图8 调查海区夏季环流分布图^[21]

Fig. 8 The distribution of circumfluence in summer

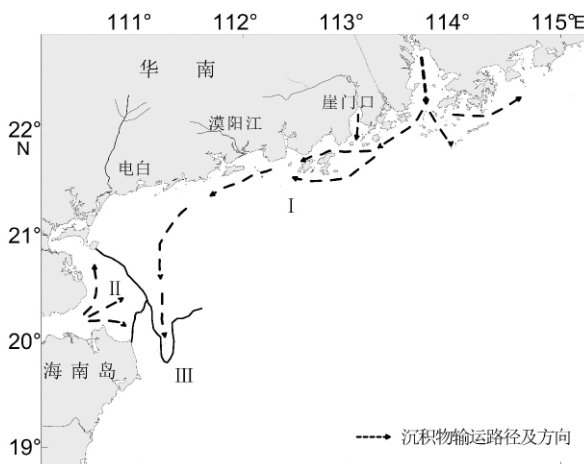


图9 沉积物分区及输运路径图

Fig. 9 The subarea and the moving route of the sediment

3 结论

通过对珠江口至海南岛东北海区表层沉积物样

品粒度和元素地球化学的测试分析,得到如下结论:

(1) 该区域沉积物粒度以粉砂及细砂为主,粗粒部分主要分布在珠江口南侧及琼州海峡周边区域。

(2) 沉积物常量元素组合以 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 K_2O 、 MgO 及 Na_2O 为主,这7种氧化物占沉积物总量的90%以上(平均值),其中 SiO_2 及 Al_2O_3 平均含量较高,达75.49%。

(3) 相关性分析发现 Al_2O_3 、 P_2O_5 、 K_2O 与 TiO_2 具有较好的相关性,受陆源物质输入的影响较大; CaO 与大多数元素为负相关,反映了海源的钙质生物来源; Na_2O 与大多数元素相关性不明显,反映了其来源的复杂性。

(4) 依据常量元素平面分布特征,将调查区域沉积物划分为3个不同的区域,分别为珠江口及粤西区域(Ⅰ)、琼州海峡东分布区(Ⅱ)及琼东分布区(Ⅲ),同时综合分析得出了Ⅰ区及Ⅱ区沉积物运移的路径趋势。

参考文献(References)

- 1 陈耀泰. 珠江入海泥沙的浓度和成分特征及其沉积扩散趋势[J]. 中山大学学报:自然科学版,1991,30(1): 105-113 [Chen Yaotai. On features of density and ingredient as well as trend of the deposit and the spread of the sediment from Pearl River into the Sea[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 1991, 30(1): 105-113]
- 2 蓝先洪,马道修,徐明广,等. 珠江三角洲地区第四纪沉积物地球化学特征及古地理意义[J]. 热带海洋,1988,(04): 62-68 [Lan Xianhong, Ma Daoxiu, Xu Mingguang, et al. Geochemical characteristics and paleogeographic significance of the Quaternary sediments in the Pearl River Delta Area[J]. Tropic Oceanology, 1988, (04): 62-68]
- 3 蓝先洪. 珠江口表层沉积物的地球化学特征[J]. 海洋湖沼通报,1989,(04): 53-61 [Lan Xianhong. Geochemical characteristics of surface sediment in the Pearl River Estuary[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 1989, (04): 53-61]
- 4 蓝先洪. 珠江三角洲晚第四纪沉积物的有机地球化学特征[J]. 热带海洋,1991,10(01): 13-20 [Lan Xianhong. Organic geochemical characteristics in the Late Quaternary sediments of the Pearl River Delta [J]. Tropic Oceanology, 1991, 10(01): 13-20]
- 5 周蒂,陈绍谋,陈汉宗. 珠江口外陆架表层沉积物的地球化学分区[J]. 热带海洋,1991,10(03): 21-28 [Zhou Di, Chen Shaomou, Chen Hanzong. The geochemical zonation of sea-bottom sediments on the shelf of Pearl River Mouth [J]. Tropic Oceanology, 1991, 10(03): 21-28]
- 6 彭晓彤,周怀阳,翁焕新,等. 珠江口沉积物主元素的组成分布特征及其地化意义[J]. 浙江大学学报:理学版,2003,30(6): 697-702 [Peng Xiaotong, Zhou Huaiyang, Weng Huanxin, et al. Characteristics of major elements' constitutions and distributions in sediments

- of the Lingdingyang in the Pearl River Estuary and their geochemical implication [J]. *Journal of Zhejiang University: Science Edition*, 2003, 30(6): 697-702]
- 7 王珊珊,曹志敏,兰东兆,等. 珠江口沉积地球化学特征与古环境演化过程[J]. *地球科学*, 2010, 35(02): 261-267 [Wang Shanshan, Cao Zhimin, Lan Dongzhao, *et al.* Geochemical characteristics of sediment of Pearl River Estuary and its paleoenvironmental evolution [J]. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 2010, 35(02): 261-267]
 - 8 刘激,欧阳秀珍,周英,等. 珠江口底质元素含量分布特征及其地球化学意义[J]. *热带海洋学报*, 2010, 29(01): 116-125 [Liu Ji, Ouyang Xiuzhen, Zhou Ying, *et al.* Geochemistry element contents and distributions in the surface sediments of the Pearl River Estuary [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2010, 29(01): 116-125]
 - 9 周蒂,范时清. 珠江口外现代沉积物运移方向的统计分析[J]. *热带海洋*, 1989, 8(3): 96-103 [Zhou Di, Fan Shiqing. Statistical analysis of transportation direction of modern sediments of Pearl River Mouth [J]. *Tropic Oceanology*, 1989, 8(3): 96-103]
 - 10 赵一阳. 中国海大陆架沉积物地球化学的若干模式[J]. *地质科学*, 1983, (4): 307-314 [Zhao Yiyang. Some geochemical patterns of shelf sediments of the china seas [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1983, (4): 307-314]
 - 11 王国庆,石学法,刘焱光,等. 长江口南支沉积物元素地球化学分区与环境指示意义[J]. *海洋科学进展*, 2007, 25(4): 408-418 [Wang Guoqing, Shi Xuefa, Liu Yanguang, *et al.* Study on geochemical province of bottom sediment elements from south branch of the Changjiang River Estuary [J]. *Advances in Marine Science*, 2007, 25(4): 408-418]
 - 12 赵一阳. 海洋地球化学名词解释[J]. *海洋科学*, 1980, (3): 33 [Zhao Yiyang. Explain for marine geochemistry term [J]. *Marine Sciences*, 1980 (3): 33]
 - 13 Wei G J, Liu Y, Li X H, *et al.* High resolution elemental records from the South China Sea and their paleoproductivity implication [J]. *Paleoceanography*, 2003, 18(2): 1054-1065
 - 14 陈弘,刘坚,王宏斌. 琼东南海域表层沉积物常量元素地球化学及其地质意义[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2007, 27(6): 39-45 [Chen Hong, Liu Jian, Wang Hongbin. Geochemical characteristics and geological significance of major elements in surface sediments in Qiongdongnan Area [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2007, 27(6): 39-45]
 - 15 古森昌,陈忠,颜文,等. 南沙海槽区表层沉积物的地球化学特征[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2001, 21(2): 43-47 [Gu Senchang, Chen Zhong, Yan Wen, *et al.* Geochemical characteristics and sedimentary environment of surface sediments of south Nansha Trough and adjacent sea areas [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2001, 21(2): 43-47]
 - 16 赵一阳 鄯明才. 中国浅海沉积物地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1994 [Zhao Yiyang, Yan Mingcai. *Geochemistry of Shallow-Sea Sediments in China* [M]. Beijing: Science Press, 1994]
 - 17 许德如,梁新权,陈广浩,等. 海南岛中元古代花岗岩地球化学及成因研究[J]. *大地构造与成矿学*, 2001, 25(4): 420-433 [Xu Deru, Liang Xinquan, Chen Guanghao, *et al.* Research on the geochemistry and genesis of mesoproterozoic granites on Hainan Island [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2001, 25(4): 420-433]
 - 18 Bischoff J L, Heath G R, Leinen M. Geochemistry of deep-sea sediments from the Pacific manganese nodule province: DOMES sites A. B. C. [C]//Bischoff J L, Piper D Z, eds. *Marine Geology and Oceanography of the Pacific Manganese Nodule Province*. New York: Plenum Press, 1979: 397-436
 - 19 陈亮,许冬,李团结. 粤西及琼东北海区悬浮体浓度及浊度特征分析[J]. *热带海洋学报*, 2012, 31(2): 80-86 [Chen Liang, Xu Dong, Li Tuanjie. Characteristics of suspended matter concentration and turbidity in the northern South China Sea [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2012, 31(2): 80-86]
 - 20 应轶甫. 粤西沿岸流及其沿岸沉积[J]. *中山大学学报: 自然科学版*, 1999, 38(3): 85-89 [Ying Yifu. On the coast current and its deposit along western coast in Guangdong [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 1999, 38(3): 85-89]
 - 21 杨士瑛,鲍献文,陈长胜,等. 夏季粤西沿岸流特征及其产生机制[J]. *海洋学报* 2003, 25(6): 1-8 [Yang Shiyang, Bao Xianwen, Chen Changsheng, *et al.* Analysis on characteristics and mechanism of current system in west coast of Guangdong Province in the summer [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2003, 25(6): 1-8]
 - 22 金波,鲍才旺,林吉胜. 琼州海峡东、西口地貌特征及其成因初探[J]. *海洋地质研究*, 1982, 2(04): 94-101 [Jin Bo, Bao Caiwang, Lin Jisheng. Geomorphic feature and origin of the deltas at the east and west mouths of Qiongzhou Strait [J]. *Marine Geological Research*, 1982, 2(04): 94-101]
 - 23 赵焕庭,王丽荣,袁家义. 琼州海峡成因与时代[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2007, 27(02): 33-40 [Zhao Huanting, Wang Lirong, Yuan Jiayi. Origin and time of Qiongzhou Strait [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2007, 27(02): 33-40]
 - 24 刘昭蜀,赵焕庭,范时清,等. 南海地质[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 351 [Liu Zhaoshu, Zhao Huanting, Fan Shiqing, *et al.* *Geology of South China Sea* [M]. Beijing: Science Press, 2002: 351]

Geochemical Characteristics and the Source of Major Elements in the Surface Sediments from Pearl River Estuary to Hainan in South China Sea

CHEN Liang^{1,2} ZHANG Yu-fen¹ LI Tuan-jie² XU Dong³

(1. Institute of Geophysics and Geomatics, China University of Geoscience (Wuhan), Wuhan 430074;

2. South China Sea Marine Engineering Surveying Center, State Oceanic Administration, Guangzhou 510300;

3. Second Institute of Oceanography State Oceanic Administration, Hangzhou 310012)

Abstract: About 3 500 surface sediment samples were got by grab and box sampler in the north of South China sea, for the sample intervals are 3 km, 5 km & 10 km, all the samples grain size were tested by Mastersizer 2000 which produced by Malvern company, and more than 700 samples were tested for Major Elements by Magix—pro 2440. From the test, we found that most of the sediment are Silty sand, the mean grain size are mostly between 3ϕ and 8ϕ , the sediment were mainly composed of SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 K_2O 、 MgO and Na_2O , which occupied more than 90% in the sediment for the average value. Relativity analyse were used for the value of the major elements and mean grain size(ϕ), the result is that SiO_2 and CaO have a negative correlation with mean grain size(ϕ), the other major elements have a positive correlation with mean grain size(ϕ), Al_2O_3 、 P_2O_5 、 K_2O and TiO_2 are related to each other, which mostly came from the continent, CaO has a negative correlation with most major elements, and the correlation-ship is low, which indicate that CaO mostly formed by calcareous. The sediment were divided by quick clustering method, and 3 different areas were plot out at last, they were Pearl River Estuary and the west of Guangdong area (I)、the east of Qiongzhou strait area(II)、the east of Hainan area(III), at the same time we also got the sediment transport trends and routes. For the area I, which is very wide, the sediment mainly came from Pearl River which spread radially to the open sea, and much suspended matter from Pearl River was transported to the west of Guangdong sea by the coast current, the transport route is close to the coast until arrived at Dianbai sea area, than turn to the south, this route is very long and many major elements have the same indication. For the area II, which is located in Qiongzhou Strait and its east, most of the sediments are medium and coarse sand that is very different from other areas, the sediments are mainly from the side and bottom of the Qiongzhou Strait, the transport route is from inner to out of the strait, and the route is short. For the area III, which is located in northeast of Hainan, the obvious characters of the sediments in this area is that the content of CaO is much higher than other places, which indicate that the biological activities are extensive in this area, we also can figure out that the sediments mainly come from the continent after the comparison with the content of major elements in the middle of South China sea, Chinese continent and Pacific, as we known there were many residual sediments which formed in late Pleiocene, so in this area the sediments mainly deposit in early stage, and also were reformed obviously by the biological activities, the transport route is not clear in this area.

Key words: major elements; grain size; surface sediment; Pearl River Estuary; northeastern Hainan