

文章编号:1000-0550(2011)04-0761-06

九龙江河口枯季沉降颗粒物及其地球化学组成研究^①

方建勇 陈 坚 张晓飞

(国家海洋局第三海洋研究所 福建厦门 361005)

摘 要 2009 年 3 月 28—29 日在九龙江河口区采用自制沉积物捕获器分层收集沉降颗粒物,分别进行了扫描电镜、激光粒度 and ICP—MS 分析,并研究了沉降颗粒物的垂直通量。结果表明:各站各层沉降颗粒物类型以生物和矿物颗粒为主,絮凝体类型各站各层有所不同。各站各层之间粒度参数的变化主要是受絮凝作用的影响所致,沉降颗粒物垂直通量在各海域各层次之间变化较大。因子分析显示,影响沉降颗粒物地球化学组成分布特征的主要因素是陆源物质的输入和人类活动的影响。

关键词 沉降颗粒物 地球化学组成 沉降通量 九龙江河口

第一作者简介 方建勇 男 1978 年出生 硕士 海洋环境 E-mail:fangjy2005@163.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

海洋中的沉降颗粒物具有重要的生态系统功能^[1],颗粒物的地球化学特征是其所经历的地质作用、生物活动影响等的信息载体之一,在反映海洋悬浮颗粒物与底质沉积物之间物质、化学组分的交换过程中起到了重要的作用^[2,3],对于海水中物质的迁移有着重要的意义。海水中溶解态元素和颗粒物之间的相互作用决定了微量元素和常量元素在海洋中的组分特征和含量分布,对水体的物理化学特性、水体中的生物地球化学过程及物质循环等有重要影响^[4]。九龙江河口区是厦门港的重要组成部分,是台湾海峡南部海域重要的物质来源,它承接了九龙江两大支流(北溪、西溪)及南溪的来水和泥沙,同时受到来自台湾海峡潮波的作用,属于径流、潮流与波浪相互作用的强潮海区,受正规半日潮控制,一直以来就是学者们关注的对象,但是多注重水质、生物、生态、地质以及环境方面的研究^[5-10],对于沉降颗粒物及其地球化学组成的研究仅有零星报道^[11],本文拟重点探讨 2008 年枯季九龙江入海口沉降颗粒物的形态、粒度特征、沉降通量和常量元素、微量元素的分布特征及其影响因素。

1 样品与方法

2009 年 3 月 28—29 日在九龙江口海域采用自制沉降颗粒物捕获器分层收集沉降颗粒物,采样站位及采样时间分别见图 1 和表 1。采样器在投放前,将

该站位置的表层海水采用孔径为 0.45 μm 醋酸纤维素滤膜过滤后把捕获器收集管装满,捕获器回收后,经挑拣出可见的生物碎片和遗骸后,采用 FRITSCH 公司生产的 laborette27 旋转锥形分样器(具有代表性样品的分样准确率高达 99.9%)把采集的沉降颗粒物均匀分成 4 份,把其中一份用于冷冻保存备用;一份用 0.45 μm 醋酸纤维素滤膜过滤,采用十万分之一的天平称重用于计算沉降颗粒物的垂直通量。将称重后的滤膜剪下少许喷金后用于扫描电镜分析^[12],分析仪器为厦门大学纳米科技中心的菲利普公司生产的 LEO1530 型扫描电镜(分辨率为 3 nm,最大放大倍数为 30 万倍);一份采用 Mastersizer 2000 型激光粒度仪进行粒度分析,样品经超声波分散后进行测定,粒度间隔为 0.25φ,精度为 2%,试验在国家海洋局第三海洋研究所海洋与海岸地质环境开放实验室进行;把第四份收集的颗粒物离心分离(4 000 r/min)并用亚沸蒸馏水脱盐后 60℃ 下干燥至恒重质量,分析前进一步碾磨混匀后称取约 0.100 g 样品,在聚四氟乙烯密闭溶样罐中加硝酸和氢氟酸进行消解并制成试样溶液采用电感耦合等离子质谱仪(Agilent 7500ce ICP—MS,美国安捷伦公司)在国家海洋局海洋一大气化学与全球变化重点实验室分析测试中心进行元素分析(分析方法见 DZ/T0223—2001 电感耦合等离子质谱分析方法通则),分析元素数量为 47 个,包括 Na、Mg、Al、K、Ca、Fe、V、Cr、Mn、

^①国家海洋局第三海洋研究所基本科研业务费专项(编号:海三科 2008003),海洋公益性行业科研专项(编号:200805064)资助。
收稿日期:2010-11-05;收修改稿日期:2011-01-15

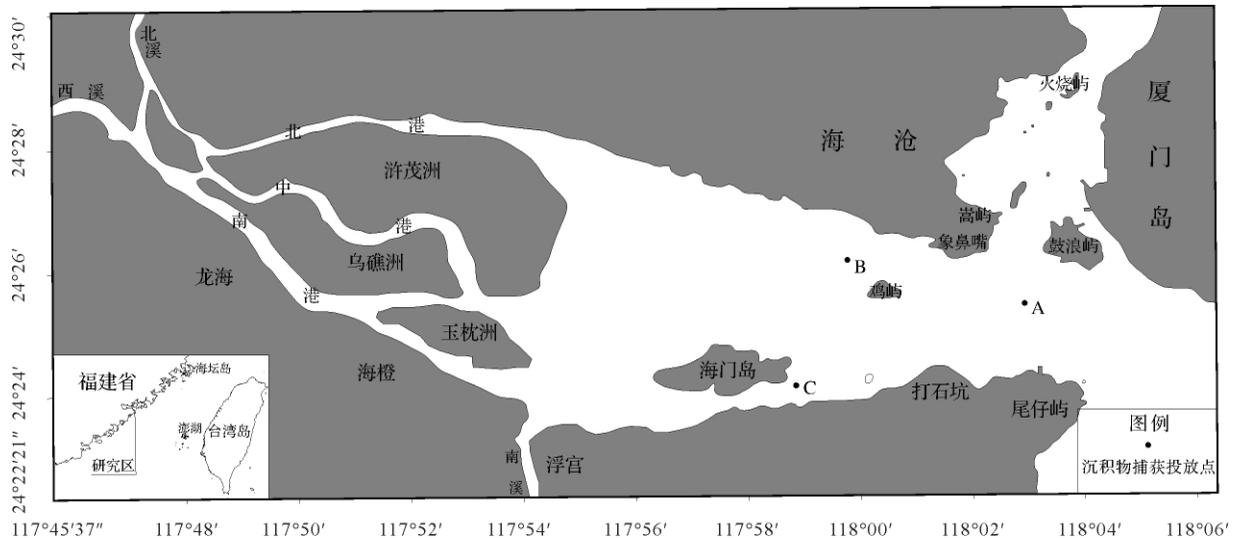


图1 调查站位置图

Fig. 1 Location of survey Stations

Co、Ni、Cu、Zn、As、Se、Mo、Cd、Sn、Sb、Hg、Tl、Pb、Th、U 等元素(部分元素因含量太低未检出),仪器测量精度标准偏差小于5%。以下选取元素含量相对较高的15种主要元素进行分析和对比,具体分析数据见表2。

表1 九龙江河口采样站位及沉降通量

Table 1 The sample station and settlement flux in the Jiulongjiang estuary area

站位	水深 /m	层次 /m	颗粒物量 /g	布放时间 /h	沉降通量 /(g·m ⁻² ·d ⁻¹)
A	14	4	1.932	26	463.6
		11	1.024	26	245.7
B	11	4	2.022	25	504.6
		8	2.993	25	747.0
C	5	1	1.942	27.5	440.6
		3	1.310	27.5	297.2

注:表中水深指的是当地理论基准深度

2 结果与讨论

2.1 沉降颗粒物

2.1.1 沉降颗粒物类型

扫描电镜分析结果显示,A站上层采集的颗粒物主要为矿物颗粒和硅藻,其絮凝体以硅藻絮凝体和住囊类^[13]为主;A站下层采集的颗粒物主要为硅藻,其絮凝体以硅藻絮凝体和混杂絮凝体为主;B站上层以矿物颗粒为主,见有形态完整的锆石等碎屑矿物;B站下层以细小颗粒物为主,生物颗粒主要为硅藻,矿

物颗粒形态较好,见有较多的片状矿物,絮凝体以硅藻絮凝体和混杂絮凝体为主;C站上层以粗颗粒的生物颗粒为主,主要为硅藻,其形态完好,絮凝体以矿物碎屑絮凝体和混杂絮凝体为主;C站下层以粗颗粒的生物和矿物颗粒为主,生物颗粒主要为硅藻,矿物颗粒晶形较好,见有晶形完好的锆石,絮凝体中见有粪球絮凝体。对于沉降颗粒物及其絮凝体类型将在另文中进行详细的报道。

2.1.2 沉降颗粒物粒度参数

粒度分析表明,A、B和C站上层和下层颗粒物均为粉砂,其含量范围在75.25%~82.03%之间,其最高值出现在A站下层,最低值出现在C站上层。三个站上下层粒度中值粒径略有差异,其范围在6.37φ~6.70φ之间。结合扫描电镜分析结果,A站上层沉降颗粒物粒径比下层略粗,主要是因为A站上层粗颗粒的矿物颗粒较多的原因,B站和C站则是下层比上层略粗,主要是因为为颗粒物絮凝形成絮凝体所致。

2.1.3 沉降颗粒物垂直通量

从表1可知,A站和C站表层的沉降通量均高于底层,B站底层沉降通量高于表层。沉降通量最高值见于B站底层,沉降通量为747.0 g·m⁻²·d⁻¹,最低出现在A站底层,沉降通量为245.7 g·m⁻²·d⁻¹,究其原因应该是源自九龙江的颗粒物沿途沉降所致。对于A站和C站表层沉降通量远远高于底层,在投放和回收捕获器的时候看到通过主航道的10万吨级的船只通过时,表层海水十分浑浊,可能是

因为 A 站处于厦门港主航道边上, 经过的船只螺旋桨导致海底沉积物再悬浮所致, 而在径流和潮流的相互作用下, 表层颗粒物被带到径流和潮流作用区分异沉积, 这也许也是处于径流作用相对较强的 B 站底层沉降通量明显高于表层的原因所在。而 C 站则可能是因为水流很急, 颗粒物主要在水层的上层被带到湾口之外的海域。

2.2 颗粒物的地球化学组成

不同来源的物质在化学组成上存在一定的差异, 颗粒物的化学组成是这些物源的综合体现。沉降颗粒物中各元素的含量和分布特征是其物源、生物地球化学过程、颗粒物之间物质交换及海洋生态环境的重要指标之一^[2]。

表 2 沉降颗粒物中常量元素和微量元素分析结果

Table 2 The analysis results of major elements and trace elements in settling particulate matter

站位	A		B		C	
	4	11	4	8	1	3
Na/%	0.635	0.509	0.312	0.217	0.310	0.314
Mg/%	0.938	0.917	0.759	0.732	0.656	0.735
Al/%	3.83	3.57	3.22	-	3.76	3.92
K/%	0.506	0.474	0.405	0.363	0.389	0.432
Ca/%	0.307	0.293	0.315	0.299	0.219	0.280
Fe/%	4.03	3.93	3.69	-	3.63	3.56
V/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	48.9	47.7	42.7	40.4	45.3	48.2
Cr/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	68.0	44.6	37.5	35.4	37.5	40.5
Mn/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	1110	1100	1030	956	1230	1300
Co/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	14.3	13.7	12.0	13.4	11.8	12.0
Ni/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	32.6	29.6	24.3	22.8	22.1	22.9
Cu/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	30.5	71.2	37.1	23.0	30.2	28.7
Zn/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	109	164	106	106	129	137
Hg/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	1.77	1.82	1.97	0.948	1.55	1.97
Pb/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	88.4	83.6	75.6	78.8	77.0	113

注: - 表示该层位某种元素未被检测到

2.2.1 常量元素

从表 2 可见, 这些元素在空间分布上可分为两类, 一类表现为各站之间变化较大, 这些元素有钠、镁和钾, 这三种元素 A 站的表层和底层明显高于 B 站和 C 站; 另一类则各站之间不具有明显的差别, 如铝、钙和铁, 但 B 站底层没有铝和铁。由于九龙江河口区处于径流和潮流的混合作用区, A 站主要受到潮流以及来自厦门西海域物质的影响, 同时九龙江河口区物质输运具有“北进南出”的规律^[5], B 站和 C 站分别位于北、南两个通道, 它们的空间分布特征以及受到径流和潮流的双重影响造就了其来源上的差异

性。

2.2.2 微量元素

2.2.2.1 微量元素的含量变化及分布

海水中铜和镍主要与生物活动有关, 从表 2 可见, 铜的含量为 23.0 ~ 71.2 $\mu\text{g}/\text{g}$; 镍的含量为 22.1 ~ 32.6 $\mu\text{g}/\text{g}$; 除了铜元素 A 站底层明显高于表层外, 这两种元素在其他各站表层和底层差别不明显。钒和锰为变价元素, 其存在形式主要受氧化还原环境的控制, 钒主要为铁锰氧化物和黏土矿物所吸附的形式搬运, 而在氧化性水体中锰主要以氧化物、氢氧化物壳膜的形式搬运, 铬主要以类质同象的形式存在于氧化物和铝硅酸盐矿物中, 钴主要以黏土吸附和金属有机络合物的形式存在^[14]。锌、汞和铅等重金属元素在各站之间变化范围不大, 锌的含量在 106 ~ 164 $\mu\text{g}/\text{g}$ 范围之内, 最低值在 B 站表层, 最高值在 A 站底层; 铅的含量为 75.5 ~ 113 $\mu\text{g}/\text{g}$, 最低值在 B 站表层, 最高值在 C 站底层; 而汞的含量相对较少, 各站含量范围在 0.948 ~ 1.97 $\mu\text{g}/\text{g}$ 之间, 最低值出现在 B 站底层, 最高值出现在 B 站表层和 C 站底层。

2.2.2.2 微量元素的富集因子

以铝作为参比值, 将某一微量元素与地壳中该元素丰度进行标准化, 计算富集因子, 即: $EF = (E/A1)_{\text{沉降}} / (E/A1)_{\text{地壳}}$, 用以消除由于矿物和粒度变化所产生的影响, 这是一个常用来判断沉积物物源的方法^[15]。当富集因子为 1 时, 认为元素来源于地壳, 当富集因子大于 10 时, 该元素被认为是非地壳源的。

表 3 沉降颗粒物中部分元素的富集因子

Table 3 Enrichment Factors (EF) of selected trace elements in settling particulate matter

站位	A		B		C	
	4	11	4	8	1	3
Na/%	0.57	0.46	0.28	0.20	0.28	0.28
Mg/%	1.27	1.24	1.03	0.99	0.89	0.99
Al/%	0.58	0.54	0.48	0.00	0.57	0.59
K/%	0.27	0.25	0.22	0.19	0.21	0.23
Ca/%	0.33	0.32	0.34	0.32	0.24	0.30
Fe/%	1.36	1.32	1.24	0.00	1.22	1.20
V/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	0.64	0.62	0.56	0.53	0.59	0.63
Cr/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	1.19	0.78	0.65	0.62	0.65	0.71
Mn/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	2.06	2.04	1.91	1.77	2.28	2.41
Co/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	1.23	1.18	1.03	1.16	1.02	1.03
Ni/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	1.31	1.19	0.98	0.92	0.89	0.92
Cu/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	1.47	3.44	1.79	1.11	1.46	1.39
Zn/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	1.60	2.41	1.56	1.56	1.90	2.01
Hg/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	46.58	47.89	51.84	24.95	40.79	51.84
Pb/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	3.76	3.56	3.22	3.35	3.28	4.81

从表3可看出,各站位各层次的Na、Al、K、Ca、V的EF都低于1,表明研究区沉降颗粒物中这些元素与地壳相比亏损;而Mn、Co、Cu、Zn、Pb的富集因子都大于1小于10,研究区这些元素与地壳相比相对富集,说明这些元素除了来源于陆源之外,还有少量其他的来源;Hg的富集因子各站位各层次均大于10,表明该元素是非地壳源的,为人类活动的产物,说明人类活动对九龙江河口区沉降颗粒物的分布有一定的影响。Mg、Fe、Cr和Ni的富集因子部分站位部分层次有的大于1有的小于1,表明这些元素与地壳相比有的相对亏损有的相对富集,部分除了来源于陆

源之外,还有其他来源。

2.2.3 沉降颗粒物与元素含量分布的影响因素

为了揭示各元素之间的相互关系,我们采用主成分分析法对其进行了因子分析^[16,17],根据原始变量得到的相关矩阵,计算全部特征值和特征向量,使用主成分分析法提取公因子,表4为各主成分的公因子方差表,前4个因子已经对绝大多数数据给出了充分的概括,所解释的方差占总方差的94.927%。表5为4个主因子的荷载矩阵,因子分析所表明的各主因子的意义如下:

因子1正方向主要元素为Na、Mg、Al、K等,没有

表4 沉降颗粒物总方差分解表

Table 4 Total variance explained of settling particulate matter

因子	初始特征值			主要因子提取		
	特征值	所占百分数/%	累积百分数/%	特征值	所占百分数/%	累积百分数/%
1	7.281	48.543	48.543	7.281	48.543	48.543
2	4.028	26.850	75.393	4.028	26.850	75.393
3	1.604	10.694	86.086	1.604	10.694	86.086
4	1.109	7.393	93.480	1.109	7.393	93.480
5	0.978	6.520	100.000			
6	5.78E-016	3.86E-015	100.000			
7	2.74E-016	1.83E-015	100.000			
8	2.67E-016	1.78E-015	100.000			
9	1.97E-016	1.32E-015	100.000			
10	5.62E-017	3.75E-016	100.000			
11	3.21E-018	2.14E-017	100.000			
12	-1.33E-016	-8.84E-016	100.000			
13	-2.59E-016	-1.73E-015	100.000			
14	-6.03E-016	-4.02E-015	100.000			
15	-8.55E-016	-5.70E-015	100.000			

表5 沉降颗粒物因子荷载矩阵

Table 5 Component matrix of settling particulate matter

	因子			
	1	2	3	4
Na	0.938	-0.269	-0.058	-0.012
Mg	0.832	-0.532	0.108	0.042
Al	0.727	0.622	-0.042	-0.264
K	0.987	-0.134	-0.082	0.039
Ca	0.229	-0.676	-0.086	-0.258
Fe	0.769	0.496	0.049	-0.387
V	0.894	0.354	-0.141	0.230
Cr	0.796	-0.358	-0.435	0.021
Mn	0.315	0.886	-0.223	0.248
Co	0.494	-0.800	0.002	0.328
Ni	0.862	-0.495	-0.003	-0.016
Cu	0.540	-0.030	0.835	-0.007
Zn	0.439	0.425	0.663	0.425
Hg	0.670	0.503	0.001	-0.447
Pb	0.332	0.455	-0.419	0.465

负方向。因子1中Al是陆源铝硅酸盐碎屑在风化过程中最不易迁移的元素之一,是陆源物质的示踪指标之一,因子1反映了陆源物质的输入对研究区沉降颗粒物分布的影响。因子1解释信息的48.543%。

因子2正方向主要元素为Al、Mn等,负方向主要为Mg、Ca和Co等。因子2中Al呈正相关,同样也是反映了陆源物质输入对沉降颗粒物分布的影响,同时又与Mg和Ca等以碳酸盐形式存在的元素呈负相关关系,也表明研究区内颗粒物中微量元素主要是以非碳酸盐的形式存在。因子2解释信息的26.850%。

因子3正方向主要元素为Cu、Zn,负方向主要为Cr和Pb。Cu、Zn等重金属元素与Pb均与人类活动因素密切相关,因子3反映了人类活动对研究区沉降颗粒物分布的影响。因子3解释信息的10.694%。

因子4正方向主要元素为Zn和Pb,负方向主要

为 Hg。Pb 和 Hg 是人类活动产物的指标, 因子 4 同样也反映了人类活动对研究区沉降颗粒物分布的影响。因子 4 解释信息的 7.393%。

利用因子分析解释影响元素分布发生差异的因素时, 由于作为因变量的元素种类很多, 必然会有一些的多解性。因子分析结果表明, 陆源物质的输入是该区沉降颗粒物分布最重要的因素, 研究区位于九龙江入海口, 根据九龙江北溪浦南站和西溪郑店站 1950—1961 年资料, 悬移质多年平均输沙量 $244 \times 10^4 \text{ t}$, 最多 $647 \times 10^4 \text{ t}$, 最少 $100 \times 10^4 \text{ t}$, 主要集中在汛期(6—9月) 特别是台风暴雨、山洪爆发时期, 是枯水期的 600 多倍, 10 年统计平均水流含沙量 0.165 mg/dm^3 , 丰水期最大 0.38 mg/dm^3 ^[5]。南溪也有部分物质输入研究区, 另外, 来自厦门湾其他海区以及部分来自台湾海峡的物质通过涨潮流的作用, 也能影响九龙江河口区沉降颗粒物各元素的分布, 因子分析也表明碳酸盐等自生组分不是其主要构成。九龙江河口区北侧为海沧主航道, 南侧为漳州开发区招银港区, 人为活动影响十分明显, 生活垃圾入海, 对研究区沉降颗粒物及各元素的分布是一个不可忽视的重要因素。

3 结论

(1) 各站各层次沉降颗粒物类型以生物和矿物颗粒为主, 絮凝体类型各站各层次有所不同。各站各层之间粒度参数的变化主要受絮凝作用影响所致, 因海底沉积物再悬浮后受到径流和潮流的相互作用分异沉积导致沉降颗粒物垂直通量在各海域各层次之间变化较大。

(2) 因子分析显示, 陆源物质的输入和人类活动的影响是影响研究区沉积颗粒物分布的主要原因。

参考文献 (References)

- 1 沈国英, 施并章. 海洋生态学 [M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1990: 176-177 [Shen Guoying, Shi Bingzhang. Marine Ecology [M]. Xiamen: Xiamen University Press, 1990: 176-177]
- 2 Greaves M J, Elderfield L H, Sholkovitz E R. Aeolian sources of rare earth elements to the Western Pacific Ocean [J]. Marine Chemistry, 1999, 68: 31-37
- 3 Williams J J, Humphery J D, Hardcastle P J, et al. Field observations of hydrodynamic conditions and suspended particulate matter in the southern North Sea [J]. Continental Shelf Research, 1998, 18: 1 215-1 233
- 4 Bruland K W. Trace elements in seawater [M] // Riley J P, Chester R. Chemical Oceanography: Vol. 8. London: Academic Press, 1983: 157-220
- 5 蔡锋, 黄敏芬, 苏贤泽, 等. 九龙江河口湾泥沙运移特点与沉积动力机制 [J]. 台湾海峡, 1999, 18(4): 418-424 [Cai Feng, Huang Minfen, Su Xianze, et al. Characteristics of silt movement and sedimentary dynamic mechanism in Jiulongjiang Estuary [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 1999, 18(4): 418-424]
- 6 蔡爱智, 蔡月娥, 朱孝宁, 等. 福建九龙江口入海泥沙的扩散和河口湾的现代沉积 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1991, 11(1): 57-67 [Cai Aizhi, Cai Yuee, Zhu Xiaoning, et al. Diffusion and modern sedimentation of seaward transporting discharges in the estuary of Jiulongjiang river Fujian province [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1991, 11(1): 57-67]
- 7 罗健, 龚怡静, 张行南. 九龙江口及厦门湾悬沙分布和输移沉积的多时相遥感分析 [J]. 水利水运科学研究, 1999, 4: 368-376 [Luo Jian, Gong Yijing, Zhang Xingnan. Multitemporal analyses of remote sensing on distribution, transportation and sedimentation of suspended sediment in the Jiulongjiang Mouth and Xiamen Eestuary [J]. Journal of Nanjing Hydraulic Research Institute, 1999, 4: 368-376]
- 8 王元领, 陈坚, 曾志, 等. 九龙江河口湾高浓度悬沙水体的分布与扩散特征 [J]. 台湾海峡, 2005, 24(3): 383-394 [Wang Yuanling, Chen Jian, Zeng Zhi, et al. Distribution and diffusion of water body with high suspended sediment concentration in Jiulongjian Estuary [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2005, 24(3): 383-394]
- 9 徐茂泉. 九龙江口表层沉积中碎屑矿物的研究 [J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 1994, 33(5): 675-680 [Xu Maoquan. Study on fragmentary minerals surface sediments in Jiulong River Estuary [J]. Journal of Xiamen University: Natural Science, 1994, 33(5): 675-680]
- 10 徐茂泉, 李超. 九龙江口沉积物中重矿物组成及其分布特征 [J]. 海洋通报, 2003, 22(4): 32-40 [Xu Maoquan, Li Chao. Characteristics of heavy minerals composition and distribution in sediment from Jiulong River Estuary [J]. Marine Science Bulletin, 2003, 22(4): 32-40]
- 11 郭劳动, 洪华生, 洪丽玉, 等. 九龙江口悬浮颗粒的主要元素化学 [J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 1989, 28(4): 436-438 [Guo Laodong, Hong Huasheng, Hong Liyu, et al. The major element chemistry of suspended particles from Jiulong River Estuary [J]. Journal of Xiamen University: Natural Science, 1989, 28(4): 436-438]
- 12 方建勇, 陈坚, 胡毅, 等. 台湾浅滩及其邻近海域沉降颗粒物及絮凝体类型研究 [J]. 热带海洋学报, 2010, 29(4): 48-55 [Fang JianYong, Chen Jian, Hu Yi et al. Types of settling particulate matter and flocs around the Taiwan Shoal [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2010, 29(4): 48-55]
- 13 雷坤, 杨作升, 郭志刚. 东海陆架北部泥质区悬浮体的絮凝沉积作用 [J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(3): 288-294 [Lei Kun, Yang Zuosheng, Guo Zhigang. Sedimentation with aggregation of suspended sediment in a mud area of the northern east china sea [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2001, 32(3): 288-294]
- 14 倪建宇, 张美, 刘小涯, 等. 秋季黄海和东海海域沉降颗粒物及地球化学组成 [J]. 海洋学报, 2006, 28(1): 158-162 [Ni Jianyu, Zhang Mei, Liu Xiaoya, et al. Sinking particles and their geochemical compositions in the Huanghai and East china seas in autumn [J]. Ac-

- ta *Oceanologica Sinica*, 2006, 28(1): 158-162]
- 15 Nolting R F, Ramkema A, Everaarts J M. The geochemistry of Cu, Cd, Zn, Ni and Pb in sediment cores from the continental slope of the Bancod Arguin [J]. *Continental Shelf Research*, 1999, 19: 2735-2768
- 16 王庆杰, 马民涛. 因子分析在环境科学与环境工程中的应用 [J]. *北京工业大学学报*, 2000, 26: 72-76 [Wang Qingjie, Ma Mintao. Application of factor analysis in environmental science and environmental engineering [J]. *Journal of Beijing University of Technology*, 2000, 26: 72-76]
- 17 孟宪伟, 杜德文, 吴金龙. 成分数据的因子分析及其在地质样品分类中的应用 [J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2000, 30(4): 367-370 [Meng Xianwei, Du Dewen, Wu Jinlong. Factor analysis for compositional data and its application to the classification of geological samples [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2000, 30(4): 367-370]

The Settling Particulate Matter and Their Geochemical Compositions in Jiulongjiang Estuary in Dry Season

FANG Jian-yong CHEN Jian ZHANG Xiao-fei
(Third Institute of Oceanography, SOA, Xiamen, Fujian 361005)

Abstract The settling particulate matter (SPM) was collected respectively by self-made sediment trap in Jiulongjiang estuary from March 28 to March 29 in 2009. The collected samples were analyzed using scanning electron microscope (SEM), laser particle size analyzer and ICP-MS instrument, and the particulate vertical fluxes were calculated. SEM analysis using the LEO1530 scanning electron microscope made in Philip company in nanometer technology centre of Xiamen University (resolution for the 3 nm, the largest magnification is 30 millions times). Grain size analysis was analyzed by Mastersizer 2000 type laser granulometer, samples were determined after ultrasonic dispersed, particle size interval for 0.25ϕ , precision is 2%, the work was done by open laboratory of ocean & coast environmental geology, third institute of oceanography. ICP-MS analysis, element analysis are finished by using inductively coupled plasma mass spectrometer (Agilent 7500ce ICP-MS, American Agilent) in key laboratory of global change and marine-atmospheric chemistry, SOA. We have analyzed 47 elements, including Na, Mg, Al, K, Ca, Fe, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Cd, Sn, Sb, Hg, Tl, Pb, Th, U, such elements (partly elements because of low content were not detected), the instrument measuring precision standard deviation is less than 5%. Using the scales measurement accuracy for 1/100000 to calculated vertical settlement particulate flux. SEM analysis shows that biological debris and minerals are the main components of settling particulate matter, the flocculation types are different in disparate levels. Every surface and bottom are silty sand, median diameter vary slightly. The change of size parameters were effected by flocculation. The vertical flux of settlement between sea level changes greatly. The surface of settlement flux are higher than the bottom in A and C station, B station emerge to the contrary. Settlement flux peak in B station bottom, settlement flux for $747.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, lowest appeared in A station bottom, settlement flux for $245.7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, investigate its reason should be derived from Jiulongjiang of particulate yakees along the subsidence. There are certain differences in different sources of substance in the chemically, particle chemical composition is the comprehensive embodiment of the source. The content and distribution characteristic of each element in settlement particle is one of the important indexes of material sources, biogeochemical process, material exchange between particles and ecological environment of marine. In order to reveal the relationship between each element, the principal component analysis is carried on the factor analysis, former four factors have given a fully summary to the vast majority figures and explained 94.927% variance of the total. Factor1 reflects the effect of distribution of the particle caused by inputting of land-sourced material. Factor 2 is also reflect the terrestrial material input on the distribution of the settlement of particles, and indicates that the trace elements of particle did not exists in the form of carbonate. Factor 3 reflects the effect of the distribution of the settlement particle by human activities in the study area. Factor 4 reveals the same conclusion with factor 3.

Key words settling particulate matter; the chemical composition; settlement flux; Jiulongjiang estuary