

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2010.04131

珠江口表层沉积物中微量元素地球化学

甘华阳, 梁开, 郑志昌

(广州海洋地质调查局, 广州 510760)

摘要:采用多元统计方法分析了珠江口八大口门海域表层沉积物中 13 种微量元素的含量、相关性、空间分布规律和来源,探讨了元素空间分布的影响因素,并与珠江和南海北部浅海及其他区域沉积物微量元素含量进行了对比。珠江口表层沉积物中 Sr、Zn、Zr 和 Ba 的含量平均值都超过了 100 $\mu\text{g/g}$; Cd 和 Hg 的含量平均值都在 1 $\mu\text{g/g}$ 以下; 其他元素含量平均值则在 21.5 至 82.3 $\mu\text{g/g}$ 之间。元素 Co、Ga 和 Zr、Ba、Pb 和 Ga、Cu 和 Ni 以及 Cr 和 Ni 之间存在较为明显的相关性。因子分析表明陆域岩石的风化剥蚀、人为排放和海洋生物是珠江口微量元素的主要物质来源。除 Sr 之外的所有被研究的微量元素的含量在空间上总体都呈现出近岸高、离岸低和某些口门区低值的特征,物质来源和沉积环境是影响微量元素空间分布的主要因素。研究区除 Zr 和 Sr 之外的微量元素,平均含量都高于上游的珠江沉积物和下游的南海北部浅海沉积物, Pb、As、Cd 和 Zn 含量超过了全球页岩平均值。

关键词:微量元素; 含量; 空间分布; 表层沉积物; 珠江口

中图分类号: P736.4

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2010)04-0131-09

由于河口区特殊的水文条件以及剧烈的物理化学和生物作用,河流所携带的大量泥沙和化学物质在该区沉积。研究河口区沉积物中微量元素的含量及其分布,不仅可以丰富对该区元素地球化学基本特征的认识,还可以深入了解该区化学元素的迁移、沉积机制和污染状况^[1],从而为环境规划和治理提供科学依据,具有重要的理论和实际意义。

珠江口作为我国南方最重要的河口区域,近 20 年来随着珠江沿岸经济的迅速发展,其所辖海域的环境污染、港口淤积等问题也逐步显现^[2]。以往对珠江口海域沉积物中微量元素研究多集中在重金属元素上,涉及重金属的区域含量分布,沉积、迁移和累积机制,元素赋存形态与生物毒性分析以及污染状况评价等领域^[3-8]。Ip 等^[6]曾对珠江口及其邻近海域沉积物中铜、铬、铅、锌、镍和钴等重金属元素的含量分布进行了分析,发现大部分重金属都呈现出由陆向海逐渐扩散的特征,但在河口淡水混合区存在高含量的“热点”。蓝先洪^[1]分析了包括硼、镍、镓、锑等在内的 9 种微量元素在珠江口表层沉积物中的含量和分布规律,发现所研究的大部分微量元素呈现出由河口向外海趋于减少的趋势,沉积环境是影响微量元素含量分布的重要因素。该研究是

目前少有的覆盖整个珠江口区域的有关沉积物微量元素问题的综合研究,然而其研究时限偏早,对微量元素测试采用的是光谱半定量分析方法,部署的取样站位也偏少,随着环境的变化和测试分析技术的提高,已无法满足现阶段工作对数据资料的需求。

本研究利用国土资源大调查项目“珠江口近岸海洋地质环境与地质灾害调查”获得的覆盖整个珠江口及其近岸海域的大量数据和资料^①,主要对其表层沉积物中的微量元素含量和空间分布进行研究,并对各元素之间的关系、来源和影响因素进行深入探讨。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于珠江口近岸海域(图 1),涵盖了珠江入海自东向西的虎门、蕉门、洪奇门、横门、磨刀门、鸡啼门、虎跳门和崖门等八大口门及外围浅海区,坐标范围 21°40′~22°38′N、113°00′~113°59′E,面积约 8 810 km²(以遥感分析面积计)。

研究区水深 1.3~32 m,等深线走向基本平行于海岸线。海底地貌为三角洲前缘的各种亚类型和前缘斜坡为主^[9]。潮型为不正规半日潮,各河口的

基金项目:中国地质调查局“我国重点海岸带滨海环境地质调查与评价”项目(20031100006)

作者简介:甘华阳(1979—),男,工程师,博士,从事海洋环境地质调查与研究,E-mail: ghuayang@126.com

收稿日期:2009-12-28;改回日期:2010-01-29。周立君编辑

① 夏真,林进清,郑志昌,等.珠江三角洲近岸海洋地质环境与地质灾害调查成果报告.广州海洋地质调查局.2004—2006.

潮差为 0.86~1.60 m。八大口门的多年平均径流量以磨刀门最高,其次是虎门、蕉门、横门等,崖门最小。磨刀门、洪奇沥和蕉门等口门是以河流作用为主的河口,具有径流强,潮流弱的特点;而虎门和崖门口门则以潮汐作用为主,径流弱,潮流强^[1]。区内的波浪冬季以北东向涌浪为主,夏季多为南、西南向涌浪。由于研究区靠近陆地,同时,受到潮流、径流、风海流和南海北部陆架水团等的影响,水流流场复杂且时空分布差异显著^[9]。

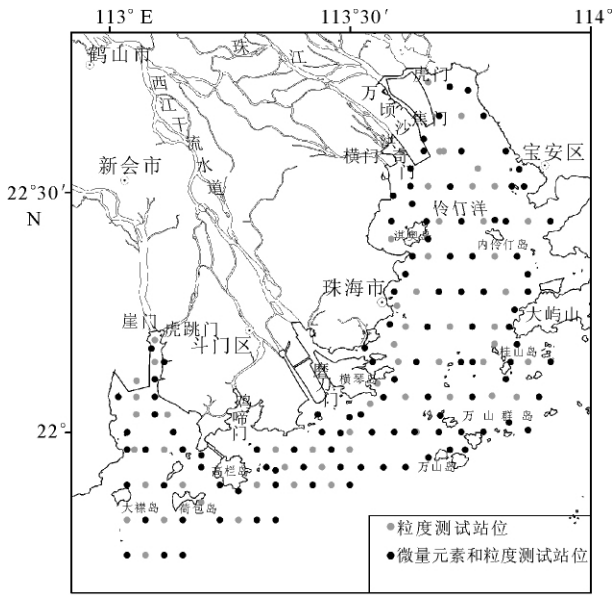


图 1 研究区地质取样站位
Fig. 1 Sampling sites in study area

在珠三角地区,各河道的地质背景有相似之处,西江和北江主要发育于第四系地层;东江下游也发育于第四系,上游则源于上侏罗统;深圳河从中侏罗统发育而来。花岗岩是西江、北江和东江的大部分河道的主要岩体,东江上游主要为石灰岩,西江上游也发育有部分石灰岩,整个珠江三角洲均由第四纪海陆交互沉积物组成^[10-11]。

1.2 取样与测试

2003—2005 年由广州海洋地质调查局海洋环境地质与工程地质调查所分期采用抓斗、重力活塞和钻探的方式在研究区共进行了 166 个站位的沉积物地质取样(图 1),获得抓斗表层样 14 个,重力柱状样 146 个,另外,还有 6 个站位的钻孔样。

所有站位的表层沉积物样品在返回实验室均采用重力沉降法进行了粒度测试。108 个有代表性的站位(图 1)(其中含表层样站位 10 个,柱状样站位 94 个,钻孔岩心样站位 4 个,柱状样和钻孔岩心样

截取顶部 0~20 cm 部分作为表层样)进行了表层沉积物的微量元素和有机质分析测试(磨刀门及其西部区域站位的样品未进行的 Ga 测试)。测试的微量元素包括 Co、Cu、Ni、Pb、Cr、Sr、Zn、Zr、Ba、Ga、As、Cd 和 Hg 等 13 种。其中 Pb 和 Cd 采用原子吸收光谱仪(AA-800,美国 Perkin-Elmer 公司)测量,Hg 采用原子荧光光度计(AFS-230E,北京海光仪器公司)测量,其余元素采用电感耦合等离子体发射光谱仪(Optima 4300DV,美国 Perkin-Elmer 公司)测量,有机质(ORG)含量采用重铬酸钾容量法测量。Pb、Cd 和 Hg 的测试在广东省物料实验检测中心进行,其余参数均由广州海洋地质调查局实验测试中心完成。化学测试过程中采用插入标准样、空白样和重复样等手段对测试质量进行了全程监控,所有样品测试的相对偏差均小于 10%,符合分析要求。

数据的分析处理采用 SPSS(Version 13.0,美国 SPSS 公司)软件。

2 结果

2.1 沉积物类型与分布

粒度分析的结果表明,研究区内表层沉积物存在着砂(S)、粉砂质砂(TS)、砂-粉砂-黏土(STY)、砂质粉砂(ST)、黏土质砂(YS)、黏土质粉砂(YT)和粉砂质黏土(TY)等多种类型(采用 Shepard(1954)沉积物结构分类)。表层沉积物的平均粒径范围为 0.60~9.80 Φ ,中值粒径范围为 0.52~9.80 Φ 。从图 2 可以看出,研究区大部分区域的表层以细粒沉积物为主,粉砂质黏土比例最大,其次为黏土质粉砂。较粗的物质主要集中在近岸河口处,如在北部虎门和蕉门附近的表层沉积物为砂和黏土质砂,而南部的磨刀门、鸡啼门和崖门近岸则分布有砂和粉砂质砂,这是由于珠江所携带的泥沙在入海后的正常重力分异造成的。此外,在研究区东南部口外浅海区也分布有较粗粒的沉积物,如砂-粉砂-黏土、粉砂质砂和黏土质砂,这可能是经过改造的残留沉积^[12]。

2.2 微量元素含量

表 1 列出了 13 种测试微量元素的统计特征。从表中可以看出,研究区表层沉积物中 Sr、Zn、Zr 和 Ba 的含量相对较高,平均值都超过了 100 $\mu\text{g/g}$,其中 Ba 最高,平均值为 355 $\mu\text{g/g}$;Cd 和 Hg 的含量则相对较低,平均值都在 1 $\mu\text{g/g}$ 以下,其中 Hg 最低,为 0.19 $\mu\text{g/g}$;其他元素含量平均值则在 21.5 至

82.3 $\mu\text{g/g}$ 之间。然而,各元素含量的波动趋势却与平均含量相反,含量最低的 Cd 和 Hg 在各站位的波动程度最大,其变异系数分别为 1.11 和 0.74,含量最高的 Ba 为变化程度最小的元素之一,变异系数为 0.26,其余元素的变异系数为 0.26 至 0.52 之间。

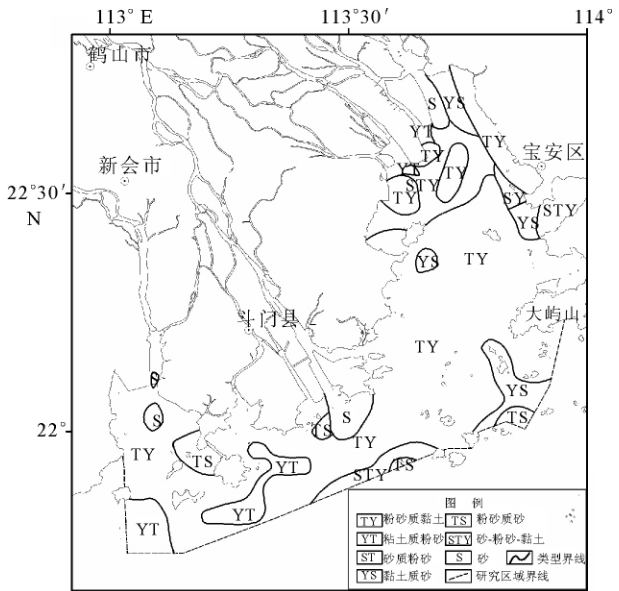


图 2 研究区表层沉积物类型分区

Fig. 2 Surface sediment types in study area

2.3 微量元素的相关性与空间分布

将 13 种微量元素含量与有机质和沉积物的中值粒径(Φ_{50})进行 Pearson 相关分析的结果(双尾 t 检验, Sig. < 0.01)见表 2。从表 2 中可以看出,所有分析变量之中均不存在相关系数的绝对值大于 0.80 的高度相关变量组。15 个参与分析的变量中存在如下的 6 个彼此相关性中等的群,第 1 个群是 Co、Ga、 Φ_{50} 和 Zr,其相关系数为 0.60~0.77;第 2 个群是 Ba、Pb 和 Ga,其相关系数为 0.61~0.70;第 3 个群是 Cu、Ni、ORG 和 Φ_{50} ,其相关系数为 0.49~

0.71;第 4 个群为 Cr 与 Ni,相关系数为 0.71;第 5 个群 As 与 Hg,相关系数为 0.59;第 6 个群为 Zn 与 Φ_{50} ,相关系数为 0.54。此外, Cd 未表现出与其他珠江口表层沉积物任何变量的相关性,而 Sr 与其他变量的相关系数几乎全为负值。

图 3 显示了 13 种微量元素、沉积物中值粒径和有机质含量在研究区的空间分布等值线图。Co、Ga 和 Zr 含量的空间分布总的趋势是由西北向东南递减,即由河口向陆架方向降低。然而在近岸的高值范围内,靠近河口的区域如虎门、洪奇门、磨刀门和崖门口,也存在低值区。

Ba 和 Pb 含量的空间分布总分布趋势与 Co、Ga 和 Zr 元素的分布近似,也存在河口区域的低值区,所不同的是这两种元素在洪奇门口低值区的范围有所扩大,一直延伸至珠海淇澳岛以东的区域。

Cu、Ni 和 Cr 的含量总体仍然存在由近岸向西南外海降低的趋势,但由于 Cr 在淇澳岛及其东部区域一个较大范围的低值区的存在相对削弱了这一趋势。这 3 种元素在珠江主要河口的低值区仍然存在。此外,在内伶仃岛北部至深圳宝安近岸出现了较为明显高值区,尤其是 Cu 和 Cr。

As 和 Hg 两种元素含量在研究区的绝大部分范围内都相对较低,但总体仍是近岸高,离岸较远的西南外海低。河口区的较低值由于邻近区域的同样低值而表现的不太明显。两元素在高栏岛南部海域都存在一个明显的峰值区,此外, As 在广州万顷沙西南部海域还存在一个峰值区。

Zn 含量虽然与其他元素无明显相关性,但其空间分布与上述元素仍有近似之处,除了保留近岸高、西南外海低的总趋势之外,河口区低值的现象也存在,但在洪奇门附近例外。

Cd 的含量在研究区大部分区域也相对较低,在珠海近岸向西南至万山群岛区域存在一大范围的低值区,而高值区则分布于洪奇门至淇澳岛南部区域。

表 1 珠江口表层沉积物中微量元素含量

Table 1	Statistics for the content of trace elements in surface sediment of study area												$\mu\text{g/g}$
	Co	Cu	Ni	Pb	Cr	Sr	Zn	Zr	Ba	Ga	As	Cd	Hg
N	108	108	108	108	108	108	108	108	108	69	76	76	76
最小值	6.3	8.8	11.6	9.9	43.0	27.0	19.4	28.0	111	6.1	5.54	0.04	0.01
最大值	32.7	155.0	181.0	116.0	179.0	434.0	237.0	265.0	569	32.4	104.00	3.04	1.05
标准差	6.1	20.2	17.4	15.7	21.3	48.7	46.6	36.2	94	6.3	13.64	0.41	0.14
变异系数	0.28	0.43	0.45	0.38	0.26	0.45	0.42	0.27	0.26	0.29	0.52	1.11	0.74
平均值	22.1	46.7	39.1	40.9	82.3	108.7	110.2	134.7	355	21.5	26.36	0.37	0.19

表 2 珠江口表层沉积物微量元素之间的相关系数
Table 2 Correlation matrix of the trace elements

	Co	Cu	Ni	Pb	Cr	Sr	Zn	Zr	Ba	Ga	As	Cd	Hg	有机质
Cu	0.37													
Ni	0.45	0.64												
Pb	0.56	0.16	0.32											
Cr	0.57	0.19	0.71	0.51										
Sr	-0.21	-0.30	-0.14	-0.01	0.05									
Zn	0.27	0.12	0.18	0.28	0.28	-0.08								
Zr	0.67	0.57	0.40	0.35	0.29	-0.36	0.15							
Ba	0.69	0.07	0.26	0.70	0.42	0.02	0.16	0.45						
Ga	0.77	0.27	0.12	0.61	0.23	-0.32	0.17	0.60	0.64					
As	0.30	0.35	0.13	0.10	0.09	-0.27	0.23	0.60	0.26	0.17				
Cd	-0.10	0.29	0.02	-0.16	-0.16	-0.26	0.04	0.23	-0.33	-0.31	0.29			
Hg	0.46	0.29	0.26	0.17	0.27	-0.17	0.12	0.37	0.22	0.34	0.59	0.12		
有机质	0.43	0.49	0.60	0.50	0.40	-0.17	0.21	0.55	0.38	0.38	0.31	0.28	0.27	
Φ ₅₀	0.67	0.57	0.56	0.45	0.33	-0.31	0.54	0.72	0.50	0.76	0.40	0.03	0.35	0.71

Sr 在研究区空间分布的总趋势与其他所有元素相反,即由西北向东南外海逐渐升高,峰值区位于桂山岛和万山岛附近海域,但其仍然部分保留了其他元素所具有的河口区低值的空间分布特性,在磨刀门和崖门口外的含量相对较低。

3 讨论

3.1 微量元素的来源

将研究区沉积物中 13 种微量元素含量与有机质和黏土含量一起进行因子分析以探讨微量元素的来源(分析前的 Bartlett 球度检验给出的相伴概率小于 0.05 且 KMO 检验值为 0.769,表明可以进行因子分析)。结果表明,提取的 2 个公因子可以解释原始 15 个变量 62.1%的信息。我们认为这两个公因子体现了研究区大部分微量元素两个最主要的来源,即自然因素和人为因素来源。

公因子 1 可能代表了微量元素的自然来源因素。在该因子中,Co、Ni、Pb、Cr、Zn、Ba、Ga 和黏土都具有较高的正载荷(图 4),表明这些元素最主要的来源是沉积物自身,而最初的来源则是研究区临近陆地和珠江水系沿岸岩石的风化剥蚀释放。珠江作为我国径流量最大的河流,多年平均径流量约 3 360 亿 m³;由于径流充沛,年平均含沙量 8 872 万 t。据统计,每年约有 20%的泥沙淤积于珠江三角洲网河区,其余 80%的泥沙分由八大口门进入河口湾堆

积,小部分被带入外海^[13]。本研究区的大部分区域都属于珠江河口湾,因此,珠江巨量的水和沙所运移携带的微量元素必然成为研究区沉积物中微量元素最主要的来源。

公因子 2 则可能代表了人为因素对研究区微量元素来源的影响。Cd、Cu 和 As 在该因子中都具有较高的正载荷,表明这 3 种元素的含量受人为因素的影响较为显著。研究区北部的珠江三角洲承载了 4 000 多万的人口,城市和工业化进程使得人类活动对环境的影响非常突出。据 Ouyang 等^[11]对珠三角经济区河水中 43 种微量元素的研究,在珠江三角洲河水中,除少量几个主要受自然因素影响的元素外,几乎所有的城镇和工业区样品平均值均高于乡村样品平均值,特别是重金属元素。这些影响最终会通过珠江水系传递到本研究的受纳河口区域。

值得注意的是,Hg、有机质和 Zr 这 3 种物质在公因子 1 和公因子 2 中具有近似相等的正载荷,这意味着它们的来源可能受自然和人为两种因素的影响程度相等。

Sr 是因子载荷图中惟一的离群元素,这与其在海洋沉积物中特殊的来源有关。尽管 Sr 在陆地岩石风化过程中也随其他微量元素一起产生,但由于其在搬运过程中 Sr 主要以重碳酸盐的形式进入水溶液,大部分都进入了海洋中,仅有小部分被黏土吸附沉积于河口。Sr 和 Ca 离子性质比较接近,在海水中可被海洋生物吸收,转变为生物介壳和骨骼,Sr

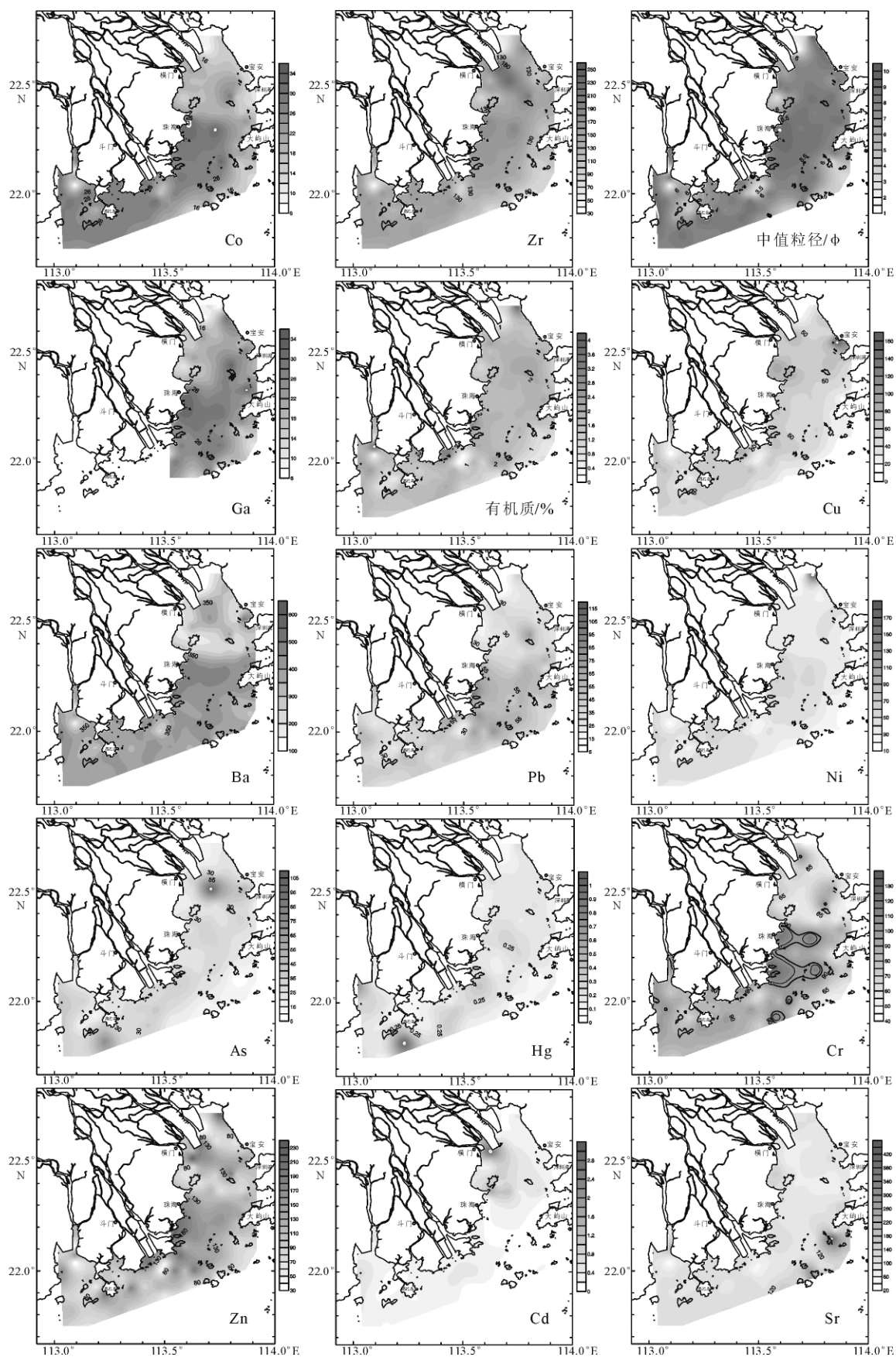


图 3 珠江口表层沉积物微量元素($\mu\text{g/g}$)、中值粒径(Φ)和有机质含量(%)的空间分布等值线

Fig. 3 Contour maps for concentration of trace elements($\mu\text{g/g}$),percentage of organic matters(%)and median diameters (Φ)of sediments

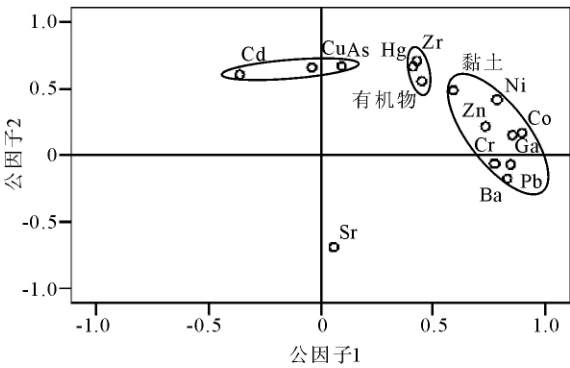


图 4 各变量的因子载荷

Fig. 4 Factor loadings of the variables

常取代晶格中的 Ca 而赋存于 Ca 的矿物中,然后通过生物作用沉降到海底。因此,海洋沉积物中的 Sr 通常属于生物成因,主要来源于生物作用,而非其他元素的陆地岩石风化的自然来源^[14]。

3.2 影响微量元素空间分布的因素

3.2.1 物质来源

沉积物的物源是造成微量元素在研究区表层沉积物中含量空间分布总体上都存在近岸高、远离岸低(Sr 相反)的主要控制因素。研究区的沉积物主要来源于珠江,而珠江所运移的颗粒物在入海后随着流速的变缓和盐度的增加等物理化学因素的影响必定首先大量沉积在口门之外的近岸区域,并且随着离口门距离的增加沉积量逐渐减少,因此,微量元素的含量也会随之减少。Sr 特殊的空间分布也与其物源有关,由于它主要来源于海洋生物碎屑沉积,而从河口到外海该沉积过程是逐渐增强的,因此,Sr 出现了总体近岸低、离岸高的空间分布特征。

3.2.2 沉积环境

沉积环境中的水动力特征是影响珠江所携带的泥沙在河口区域分布的重要因素,它与其他环境要素,如水体的盐度、pH 值和有机质含量等因素的联合作用最终决定各子区域沉积物类型的分布,而沉

积物微量元素含量高低则与其类型密切相关。从表 2 中微量元素与沉积物中值粒径的相关性可以看出,除了 Sr 和 Cd 之外,其他元素都与中值粒径呈不同程度的正相关,即沉积物越细,微量元素含量也随之增加。这主要是由于细粒沉积物除了本身富含一定元素之外,其表面吸附作用较强,可吸附许多微量元素共沉淀;此外细粒沉积物中氧化还原电位较低且富含有机质,由此引发的氧化还原反应也能引起元素的富集^[15-16]。珠江水流入海后在地表径流和海洋动力等综合作用下形成一股向西南流动的沿岸流,使得随珠江径流入海的大陆源物质和泥砂随之西移,受潮流的顶托后逐渐沉积在西部近岸,形成大片以粉砂质黏土及黏土质粉砂为主的细粒沉积物区^[17],因而西部近岸微量元素的含量较高。同样,由于“粒度效应”在相对高能的口门区,如以潮流量大的蕉门和虎门口、径流量大的磨刀门口和风浪较大的万山群岛西北部,水流反复颠洗使沉积物的粒度较粗,黏土含量降低,沉积物类型以砂、粉砂质砂、黏土砂和砂-粉砂-黏土为主,微量元素的含量较低。

3.3 微量元素含量与其他区域的比较

研究区海域表层沉积物中测试的微量元素含量与珠江沉积物相比较(表 3),相对非常富集的元素是 Cd,其含量是珠江沉积物中含量的 4.1 倍多;相对较为富集的元素为 Hg、As、Pb 和 Zn,其含量分别是珠江沉积物中含量的 2 到 1.3 倍;相对略微富集的元素为 Co、Cu、Ga 和 Ni,其含量分别是珠江沉积物中含量的 1.2 倍左右;Sr、Ba 以及 Cr 的含量与珠江沉积物中含量基本相当,而 Zr 则相对亏损,仅为珠江沉积物中含量的一半。

与南海北部浅海表层沉积物中的含量相比较,Hg、Cd、As 和 Cu 的含量相对非常富集,分别是前者的 7~3.6 倍;Co、Pb、Zn、Ni 和 Ga 相对较为富集,分别是前者的 2.46~1.55 倍;Ba 相对略微富集;Zr 和 Sr 相对亏损,分别仅为前者的 3/5 和 2/5。

表 3 珠江口表层沉积物微量元素含量与其他研究的比较

Table 3 Comparison of the results from other researches and this study

	Co	Cu	Ni	Pb	Cr	Sr	Zn	Zr	Ba	Ga	As	Cd	Hg
本研究均值	22.1	46.7	39.1	40.9	82.3	108.7	110.2	134.7	355	21.5	26.36	0.37	0.19
珠江沉积物 ^[15]	18	38	35	30	86	100	85	270	340	18	17.0	0.09	0.093
南海北部浅海 ^[15]	9	13	20	19	53	265	61	235	288	12	7.2	0.053	0.027
黄河口 ^[18]	9.84	55	58.53	40.72	—	—	—	165	—	30.42	—	—	—
全球页岩均值 ^[19]	19	45	68	20	90	300	95	160	580	19	13	0.3	0.4

以上的比较说明,研究区内沉积物中大部分微量元素的含量相对于上游运移通道中的珠江沉积物和下游南海北部浅海沉积物是最高的。这是由于研究区位于珠江河口这个特殊的区域造成的。陆地风化产生的元素在被水流运移的过程中小部分沉积于河床,其余大部分则被运移至河流入海口,然而当河流入海之时,由于河道变宽,流速减缓,加之河口淡水咸水之间复杂的物理化学过程,使大量微量元素随着河流悬浮物而沉淀到河口沉积物中,形成河口沉积物微量元素相对于河流沉积物的富集。在河口之外的浅海,由于距离物源太远,大部分微量元素的含量因此低于研究区。

Zr 的含量与上述大部分元素相反,在研究区表层沉积物中含量最低。这是因为在表生环境中 Zr 主要存在于锆石中,这种矿物不但化学性质稳定且比重较大,在被河流运移过程中能够较早沉积^[20],因而出现研究区表层沉积物中的含量远低于珠江沉积物中含量的现象。南海北部浅海沉积中 Zr 的含量也高于研究区的含量则可能与南海北部浅海中所存在的残留砂中锆石的含量较高有关^[21]。Sr 的含量处于珠江沉积物和南海北部浅海沉积中的含量的中间,即从河流沉积物到河口至浅海,Sr 的含量逐渐升高则是由于从河流沉积物到河口至浅海生物沉积作用逐渐加强的缘故。

研究区表层沉积物中部分微量元素含量与黄河口相比,仅 Pb 较为接近。Co 的含量前者是后者的两倍多;而 Cu 和 Zr 后者要比前者高出约 20%,Ga 和 Ni 则分别要高出约 40%和 50%。造成这些差异的最主要原因就是这两个区域各自环境背景如陆源区物质成分、风化强度等因素的差异,尽管它们都为河口区域。例如,研究区 Ni 含量低于黄河口就可能与构成珠江各支流大部分河道的花岗岩本身较低的 Ni 丰度有关;而 Ga 和 Cu 则与华南高强度的风化特征有关;Zr 则可能与其同沉积物结合的性质有关——它在粉砂中而非泥质沉积物中的含量最高^[15]。

虽然环境污染问题不是本文研究的重点,但由于本研究所涉及的微量元素中包含有多种对环境有害的重金属元素,而全球页岩中元素含量均值常用作评价现代沉积物是否污染的对比值,因此,这里也将研究区表层沉积物中微量元素含量与全球页岩均值作简单的对比探讨。与页岩均值含量相比,研究区表层沉积物中 Pb 和 As 含量超出一倍以上;其次为 Cd 和 Zn,超出约 20%;其余元素都低于页岩均值。这提示要对研究区表层沉积物中 Pb、As、Cd

和 Zn 4 种重金属重点关注并做进一步的深入研究。

4 结论

(1)珠江口表层大部分以细粒沉积物为主,粉砂质黏土比例最大,其次为黏土质粉砂;较粗的物质主要集中在近岸河口处和东南部外浅海区。

(2)珠江口表层沉积物中 Sr、Zn、Zr 和 Ba 的含量相对较高,平均值都超过了 $100 \mu\text{g/g}$;Cd 和 Hg 的含量则相对较低,平均值都在 $1 \mu\text{g/g}$ 以下;其他元素含量平均值则在 $21.5 \sim 82.3 \mu\text{g/g}$ 之间。

(3)元素 Co、Ga 和 Zr, Ba、Pb 和 Ga, Cu 和 Ni, Cr 和 Ni 之间存在较为明显的相关性。因子分析表明陆域岩石的风化剥蚀、人为排放和海洋生物是珠江口表层沉积物中微量元素的主要物质来源。

(4)除 Sr 之外的所有被研究的微量元素的含量在空间上总体都呈现出近岸高、离岸低和某些珠江口门区低值的特征。物质来源和包括水动力、盐度、pH 值等在内的沉积环境是影响微量元素空间分布的两个主要因素。

(5)珠江口沉积物中除 Zr 和 Sr 之外的大部分微量元素含量都高于上游的珠江沉积物和下游的南海北部浅海沉积物,河口区特殊的水文条件以及物理化学和生物作用是造成该现象的主要原因。Pb、As、Cd 和 Zn 含量超过了全球页岩平均值,需进一步深入研究其对环境的影响。

参考文献 (References)

- [1] 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(4): 53-61. [LAN Xianhong. Geochemical characteristics of surface sediment in the Pear river estuary[J]. Transaction of Oceanology and Limology, 1989(4): 53-61.]
- [2] 柯东胜, 关志斌, 余汉生, 等. 珠江口海域污染及其研究趋势[J]. 海洋环境科学, 2007, 26(5): 488-491. [KE Dongsheng, GUAN Zhibin, YU Hansheng, et al. Environmental pollution and study trend in Pearl River Estuary[J]. Marine Environmental Science, 2007, 26(5): 488-491.]
- [3] Liu W X, Li X D, Shen Z G, et al. Multivariate statistical study of heavy metal enrichment in sediments of the Pearl River Estuary[J]. Environmental Pollution, 2003, 121(3): 377-388.
- [4] 王增焕, 林钦, 李纯厚, 等. 珠江口重金属变化特征与生态评价[J]. 中国水产科学, 2004, 11(3): 214-219. [WANG Zenghuan, LIN Qin, LI Chunhou, et al. Variation features and ecological assessment of heavy metals from Pearl River estuary[J]. Journal of Fisher Sciences of China, 2004, 11(3): 214-219.]

- [5] 杨蕾, 李春初, 田向平. 珠江磨刀门河口表层沉积物中重金属含量及其分布特征[J]. 生态环境, 2006, 15(3): 490-494. [YANG Lei, LI Chunchu, TIAN Xiangping. Concentrations and content distribution of heavy metals in surface sediments in Modaomen distributary mouth of Pearl River estuary[J]. Ecology and Environment, 2006, 15(3): 490-494.]
- [6] Ip C M, Li X, Zhang G, et al. Trace metal distribution in sediments of the Pearl River Estuary and the surrounding coastal area, South China[J]. Environmental Pollution, 2007, 147: 311-323.
- [7] Wang S, Cao Z, Lan D, et al. Concentration distribution and assessment of several heavy metals in sediments of west-four Pearl River Estuary[J]. Environmental Geology, 2008, 55: 963-975.
- [8] 左平, 汪亚平, 程珺, 等. 深圳湾海域表层和柱样沉积物中的重金属分布特征[J]. 海洋学报, 2008, 30(4): 71-79. [ZUO Ping, WANG Yaping, CHENG Jun, et al. Distribution characteristics of heavy metals in surface sediments and core sediments of the Shenzhen Bay in Guangdong Province, China[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2008, 30(4): 71-79.]
- [9] 龙云作. 珠江三角洲沉积地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1997: 11-13. [LONG Yunzuo. Sedimentology of Pear River Delta[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997: 11-13.]
- [10] 广东省地质矿产局. 广东省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1988: 6-279. [Bureau of Geology and Mineral Resources of Guangdong Province. Regional geology of Guangdong Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988: 6-279.]
- [11] Ouyang T P, Zhu Z Y, Kuang Y Q, et al. Dissolved trace elements in river water; spatial distribution and the influencing factor, a study for the Pearl River Delta Economic Zone, China[J]. Environmental Geology, 2006, 49(5): 118-125.
- [12] 广东省海岸带和海涂资源综合调查大队, 广东省海岸带和海涂资源综合调查领导小组办公室. 广东省海岸带和海涂资源综合调查报告[M]. 北京: 海洋出版社, 1987: 108-110. [The investigation team and leading group of the coastal fishery resource in Guangdong Province. The Investigation Report for the Coastal Fishery Resource in Guangdong Province [M]. Beijing: Oceanography Press, 1987: 108-110.]
- [13] 珠江水利委员会. 珠江概况-基本情况-气象水文[EB/OL]. http://www.pearlwater.gov.cn/zjgk/jbqk/t20041104_1287.htm, 2004-11-04/2009-10-23. [Pearl River Water Resources Commission. General situation of Pear river-Basic facts-Weather and hydrology[EB/OL]. http://www.pearlwater.gov.cn/zjgk/jbqk/t20041104_1287.htm, 2004-11-04/2009-10-23.]
- [14] 朱赖民, 高志友, 尹观, 等. 南海表层沉积物的稀土和微量元素丰度及其空间变化[J]. 岩石学报, 2007, 23(11): 2963-2980. [ZHU Laiming, GAO Zhiyou, Yin Guan, et al. Content and spatial change of rare earth element and trace element of surficial sediment in the South China Sea[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(11): 2963-2980.]
- [15] 赵一阳, 酈明才. 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 China Shallow Sea Sediments[M]. Beijing: Science Press, 1994.]
- [16] 陈绍谋, 路秀云, 吴传芝, 等. 南海北部沉积物的地球化学特征及元素赋存状态的研究[J]. 热带海洋学报, 1986, 5(4): 62-70. [CHEN Shaomou, LU Xiuyun, WU Chuazhi, et al. The study of geochemical characteristics of sediments elements and forms of existence of in northern South China Sea[J]. Tropic Oceanology, 1986, 5(4): 62-70.]
- [17] 邱礼生. 珠江口海区表层沉积物中重金属的分布模式[J]. 海洋通报, 1989, 8(1): 36-43. [QIU Lisheng. Distribution patterns for heavy metals in surface sediment from Pear River estuary[J]. Marine Science Bulletin, 1989, 8(1): 36-43.]
- [18] 赵其渊, 李家丰, 丁红, 等. 黄河口沉积物微量元素的多元统计分析[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 1985, 15(1): 169-178. [ZHAO Qiyuan, LI Jiafeng, DING Hong, et al. The multivariate analysis of mcroelememts in sediments of nearshore area of the Huanghe River[J]. Journal of Shandong College of Oceanology, 1985, 15(1): 169-178.]
- [19] Turekian K K, Wedepohl K H. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust[J]. Geological Society of America Bulletin, 1961, 72(2): 175-192.
- [20] 梁美桃, 古森昌, 陈绍谋, 等. 南海北部表层沉积物中锆元素的地球化学初步研究[J]. 热带海洋学报, 1986, 5(2): 20-26. [LIANG Meitao, GU Senchang, CHEN Shaomou et al. A preliminary study on the geochemistry of Zirconium in sediments of northern South China Sea[J]. Tropic Oceanology, 1986, 5(2): 20-26.]
- [21] 陈绍谋, 梁美桃, 吴必豪, 等. 南海表层沉积物的地球化学研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1988(1): 17-19. [CHEN Shaomou, LIANG Meitao, WU Bihao, et al. Geochemical study of surface sediment from South China Sea[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 1988(1): 17-19.]

TRACE ELEMENTS GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS
OF THE SURFACE SEDIMENTS OF PEAR RIVER ESTUARY

GAN Huayang, LIANG Kai, ZHENG Zhichang

(Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510760, China)

Abstract: The concentration, correlation, spatial distribution and sources of thirteen trace elements in the surface sediments from eight outlets of the Pear River estuary were analyzed by multiple statistics; the factors affecting element spatial distribution were also discussed along with the comparison of the element concentration of this study with the sediments from the Pear River, shallow water of South China Sea and other areas. The mean concentration of Sr, Zn, Zr and Ba are higher than 100 $\mu\text{g/g}$, while the values of Cd and Hg are lower than 1 $\mu\text{g/g}$ in surface sediment of Pear River estuary; the values of other analyzed elements lie within the range of 21.5~82.3 $\mu\text{g/g}$. Evident correlations exist among Co, Ga, Zr; Ba, Pb, Ga and between Cu and Ni and Cr and Ni. Factor analysis indicates that weathering of land rock, artificial discharge and marine biology are the main sources of the trace elements in the surface sediments of the Pear River estuary. The spatial distribution of all studied elements except for Sr demonstrates a content decline with the distance from the shore and low values occur in some outlet areas. The source and sedimentary environment are two major factors influencing the distribution of the elements. The mean concentration of all studied trace elements aside from Zr and Sr in the study area exceeds the values from the Pear River and the shallow water of the South China Sea; the mean concentration of Pb, As, Cd and Zn in the study area are appreciably higher than the mean values of shale in the world.

Key words: trace element; concentration; spatial distribution; surface sediment; Pear river estuary