

文章编号: 1000-0550(2006)06-0870-07

厦门海域现代沉积环境与重金属环境地球化学特征^①

李桂海¹ 曹志敏¹ 蓝东兆^{1,2} 许江² 王珊珊¹

(1 中国海洋大学地球科学学院 山东青岛 266100 2 国家海洋局第三海洋研究所 福建厦门 361005)

摘要 通过厦门海域表层沉积物重金属含量分析、粒度分析及对测试结果进行的聚类分析,我们对厦门海域现代沉积环境和重金属环境地球化学特征进行了探讨。结果表明,研究海域各海区间,同一海区不同站位间沉积环境存在较大差异。重金属在各站位含量主要取决于其相应的富集组分多少,仅在个别站位受具体元素的物源影响较大。研究发现, Zn Cu Pb As Cr 在细砾和粗砂中的含量可以反映其在该地区的环境背景值大小。

关键词 沉积环境 重金属 环境地球化学 粒度分析 聚类分析

第一作者简介 李桂海 男 1971 年出生 博士研究生 海洋资源与环境地球化学

中图分类号 P512 X55 **文献标识码** A

海洋沉积环境是指海洋沉积物的堆积环境,其特征取决于堆积环境中的水动力条件及物理、化学和生物过程^[1]。运用沉积物的粒度分析反演沉积环境变化,前人已作过较多研究,比较经典的如 Doeglas Visser 等人提出的概率成因图, Passega R 提出的 CM 图,以及 Folk Harris Friedman 等学者提出的粒度参数离散图^[2]等。局部海域的重金属、有机物环境地球化学行为与其沉积环境变化密切相关。

厦门海域位于我国台湾海峡西侧,是我国东南沿

海重要的出海口和对台口岸。海域内岛礁众多,沟汊纵横,有九龙江、浔江注入其中。从 20 世纪 80 年代开始,该地区高重金属含量就吸引了众多学者的关注^[3-7]。为了深入开展该区重金属的环境地球化学研究,我们进行了系统采样及分析测试,在精确检测表层沉积物重金属含量的基础上,通过对沉积物进行激光粒度分析、R 型聚类分析以期获得该海域复杂的沉积环境变化与重金属的环境地球化学特征。本文所指重金属包括亲铜的类金属元素 Hg 和 As

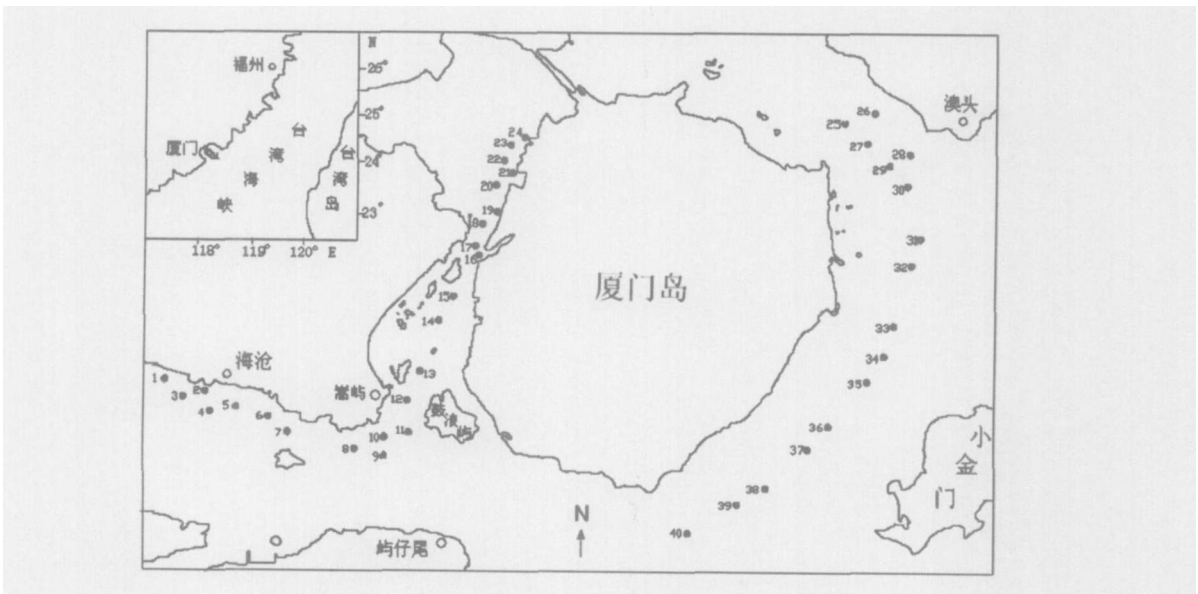


图 1 采样站位分布图

Fig 1 Distribution of sampling stations

① 中欧合作项目 (NCO-CT-2004-510706) 与厦门港航道扩建工程倾倒地选划项目联合资助。
收稿日期: 2006-02-27 收修改稿日期: 2006-04-17

1 样品采集与分析方法

1.1 样品采集及处理

在厦门海域各海区 (I 九龙江口, II 西港, III 五通湾口, IV 东侧水道) 共布设 40 个站位 (图 1), 导航定位采用 HYPACK 系统, 于 2005 年 7 月 6 日至 7 日用蚌式采样器采集表层沉积物样品, 用塑料勺取中央未受干扰的表层 0~5 cm 泥样, 密封于用 5% HNO₃ 处理过的聚乙烯塑料袋内冷藏。重金属总量分析的样品于 50℃ 条件下烘干, 用研钵轻轻研磨, 存放于干燥器中。

1.2 样品分析方法

沉积物中重金属含量分析按海洋监测规范 (GB17378 5-1998) 进行。Cd, Cr, Cu, Pb 采用无火焰原子吸收分光光度法, As 采用氢化物-原子吸收分光光度法, Hg 采用冷原子吸收光度法, Zn 采用火焰原子吸收分光光度法。

实验所用玻璃、塑料器皿均事先在 5% HNO₃ 中

浸泡 24 小时以上, 并用蒸馏水和亚沸水洗净烘干; 所用试剂全部为优级纯, 试剂溶液均用蒸馏水配制。

沉积物粒度分析采用 Mastersizer2000 激光粒度仪。一般样品过 1 mm 筛, 个别较粗样品过 2 mm 筛; 1 mm 筛全部通过的样品, 直接进样分析; 过筛样品分析后进行对接。同时做平行样 2 到 3 次以保证分析结果的可靠性。

2 结果与讨论

2.1 重金属在研究海域各海区的含量分布

Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Hg, As 在各站位表层沉积物中的含量分布如图 2 所示。在区域分布上, Cu, Pb, Zn, Cr, Hg, As 在西港区平均含量最高, Cd 在九龙江口区含量最高。各元素在四个海区的平均含量 (μg/g) 分别为: Cu II 区 (30.95) > III 区 (13.35) > IV 区 (10.87) > I 区 (10.67); Zn II 区 (168.1) > III 区 (129.9) > I 区 (109.6) > IV 区 (52.8); Pb II 区 (55.0) > I 区 (40.7) > III 区 (30.1) > IV 区 (24.1);

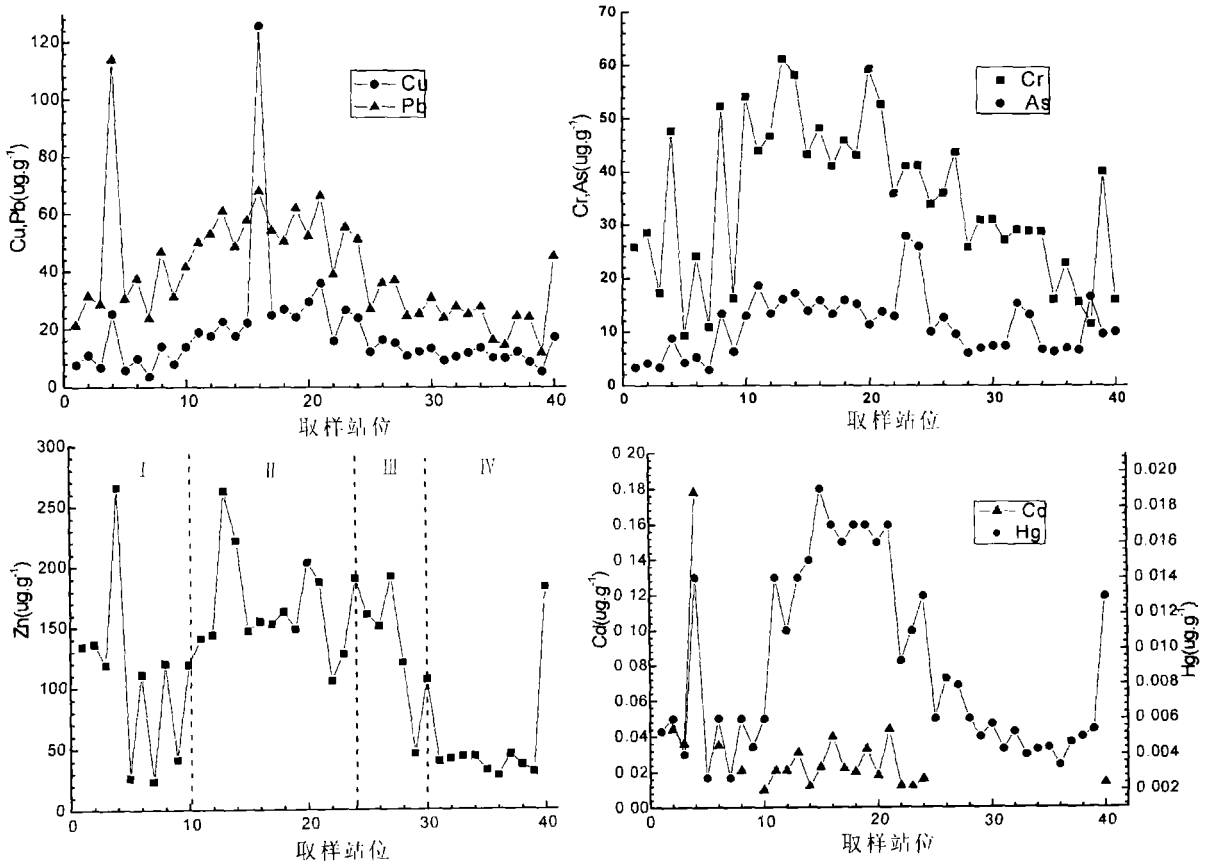


图 2 重金属在各站位表层沉积物中的含量分布
(I 九龙江口, II 西港, III 五通湾口, IV 东侧水道)

Fig 2 Distribution of heavy metals in surface sediments of each site

(I estuary of Jiu Long river II west harbor III bay mouth of Wu Tong, IV channel of east Xian en)

Cd I 区 (0.034) > II 区 (0.023) > IV 区 (0.006) > III 区 (0.005); Cr: II 区 (47.36) > III 区 (36.62) > I 区 (28.63) > IV 区 (23.64); Hg II 区 (0.0147) > III 区 (0.0065) > I 区 (0.0057) > IV 区 (0.0054); As II 区 (16.5) > IV 区 (9.85) > III 区 (8.75) > I 区 (6.45)。各元素在研究海域的分布没有明显的规律性,西港区在整体上平均含量较高,但各站点间元素含量差异较大。

2.2 厦门海域现代沉积环境特征

2.2.1 各海区表层沉积物的粒度分析

沉积物的粒度分析在研究沉积环境方面应用广泛,激光粒度分析技术的发展,可以显现各粒级频率分布的显微变化,为精确讨论现代沉积环境变化提供了可能。对厦门海域 40 个站位表层沉积物进行了系统的粒度分析(表 1),其中粒级标准采用伍登—温德华士(Udden Wentworth)等比制 ϕ 值,粒度参数计算

表 1 厦门海域各站位表层沉积物的各粒级含量(%)及标准偏差(σ)

Table 1 Standard deviation (σ) and grade content (%) of surface sediments of each site in Xiamen sea area

站位	砾石(ϕ)			砂(ϕ)				粉砂(ϕ)				粘土(ϕ)		标准偏差	
	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		>10
1	3.74	13.33	23.92	15.69	15.07	4.28	1.37	2.27	3.48	5.44	5.35	3.30	1.53	1.24	3.32
2	0.00	0.00	5.76	17.12	18.15	2.02	3.57	6.09	8.24	11.34	11.47	8.16	4.41	3.67	3.31
3	0.00	0.04	10.70	31.97	37.62	2.46	1.01	2.95	3.79	3.96	2.54	1.61	0.85	0.52	2.13
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	2.22	2.70	7.61	17.43	24.98	21.37	12.77	6.02	4.77	1.71
5	0.00	0.64	16.30	57.52	25.47	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63
6	0.00	5.38	0.95	7.09	24.19	9.13	2.77	4.10	5.67	11.71	11.51	8.79	4.75	3.97	3.37
7	0.00	0.69	10.36	37.43	40.46	5.10	0.32	0.95	1.04	1.40	1.21	0.78	0.28	0.00	1.16
8	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	5.64	6.13	8.22	14.43	21.74	20.00	12.50	5.97	4.33	2.08
9	0.00	0.31	19.62	19.66	23.67	11.52	2.91	2.87	3.51	4.72	4.86	3.31	1.67	1.38	2.88
10	0.00	0.00	0.00	0.00	1.48	7.87	9.83	8.75	12.63	18.96	18.90	12.13	5.51	3.94	2.26
11	0.00	0.00	0.00	0.05	7.97	5.13	5.95	7.28	11.32	20.33	17.23	12.44	6.80	5.52	2.55
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	3.57	6.56	9.53	14.72	23.91	20.79	11.99	5.10	3.68	1.89
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.82	3.62	7.64	14.56	23.20	23.86	14.89	6.50	4.92	1.71
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	2.61	6.81	13.78	26.17	23.74	14.90	6.81	5.02	1.62
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95	1.64	5.31	14.36	24.34	25.78	15.76	6.85	5.01	1.57
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	1.93	5.65	13.69	25.44	25.52	15.51	6.73	5.12	1.57
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.43	4.77	13.28	22.74	26.80	17.26	7.68	6.02	1.56
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	1.73	4.84	13.46	25.37	26.40	16.14	6.98	4.98	1.52
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	1.13	4.44	13.43	25.27	26.51	16.29	7.23	5.57	1.51
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	1.33	4.97	13.73	25.94	26.41	15.57	6.64	5.10	1.51
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.62	5.41	14.48	25.08	26.04	15.40	6.68	5.28	1.54
22	0.00	0.00	0.00	0.00	2.83	10.99	6.30	7.11	12.83	20.69	19.30	11.48	4.94	3.55	2.36
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.76	5.30	13.51	24.84	26.24	16.07	6.96	5.32	1.55
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	4.38	12.92	23.75	26.51	17.27	7.94	6.19	1.54
25	1.90	7.02	13.71	1.37	2.72	2.76	1.20	5.15	10.38	16.41	16.23	10.87	5.73	4.55	3.95
26	0.16	5.13	6.01	2.56	5.47	1.61	2.70	5.17	10.74	18.71	18.04	12.14	6.43	5.14	3.45
27	4.64	4.27	7.49	3.79	2.67	2.18	3.23	5.64	10.80	17.16	16.79	10.96	5.69	4.69	3.91
28	2.33	7.68	14.82	2.74	7.08	2.90	2.77	4.62	8.08	15.27	12.94	9.16	5.32	4.31	3.93
29	5.33	5.41	14.38	1.12	6.53	4.11	2.85	4.94	8.65	13.07	14.38	9.77	5.12	4.34	4.02
30	0.00	2.29	5.70	2.01	8.76	5.17	3.62	5.29	10.17	16.19	17.51	11.77	6.23	5.28	3.30
31	2.40	4.52	13.31	1.30	5.41	2.89	1.56	4.28	9.71	16.02	16.43	11.19	6.02	4.97	3.92
32	0.00	10.12	12.80	9.60	17.12	1.32	3.61	4.14	5.18	12.99	8.68	6.87	4.27	3.31	3.75
33	4.39	11.29	32.81	10.67	5.93	3.34	1.50	1.73	4.29	7.63	7.21	4.73	2.45	2.06	3.62
34	6.49	8.13	12.14	6.09	17.29	6.66	1.85	2.05	5.46	9.83	9.99	6.97	3.81	3.25	3.95
35	5.89	7.61	14.06	5.98	11.89	1.83	1.60	3.36	6.66	11.97	12.31	8.32	4.50	4.03	4.01
36	7.45	8.14	20.53	5.80	11.53	1.90	1.21	2.72	6.43	11.38	10.29	6.60	3.34	2.69	3.91
37	5.00	7.42	7.46	4.73	19.19	3.40	0.99	2.99	7.25	13.17	13.62	8.17	3.70	2.92	3.82
38	0.00	4.84	13.56	15.85	28.33	6.95	0.77	3.43	4.82	7.02	6.57	4.23	2.04	1.59	3.17
39	5.92	10.34	15.57	5.88	13.24	1.41	2.20	4.78	7.65	10.13	9.88	6.61	3.46	2.93	3.90
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	2.16	4.00	8.92	17.07	23.49	22.20	12.67	5.17	3.95	1.74

采用福克和沃德 (Folk & Ward) 参数公式, 表中仅列出了各粒级含量和粒度参数中按 ϕ 值制的标准偏差 (σ), 中值粒径、偏态和峰态从略。

粒度分析结果表明, 在九龙江口区 (站位 1~10), 零星分布有细砾 ($\phi = -2 \sim -1$), 其中, 站位 1、3、5、7、9 以粗、中、细砂为主 ($\phi = 0 \sim 3$); 4、8、10 站位以中、细粉砂和粘土为主 ($\phi = 6 \sim 9$); 在 2、6 站位, 砂、粉砂和粘土含量分布比较均匀。从沉积物的分选性来看, 除 5 号站位分选较好 ($\sigma = 0.63$) 外, 其余站位分选性很差 ($\sigma = 2.48$), 反映了该海区复杂的水动力特征。在西港区 (站位 11~24), 除 22 站位砂含量较高外, 其余各站位均以中、细粉砂和粘土为主 ($\phi = 6 \sim 9$), 且分选性较九龙江口区要好 ($\sigma = 1.71$), 说明该区域整体沉积环境较稳定。在五通湾口区 (站位 25~30), 各站位均以细砂、粉砂和粘土为主, 有少量细砾存在。东侧水道区 (站位 31~40) 除 40 站位以外, 均以砂和粉砂为主, 砾石和粗砂含量比五通湾口区要高, 这两个海区绝大部分站位包含了从细砾 ($\phi = -2$) 到细粘土 ($\phi = 11$) 的所有粒级, 且分选性很差, 说明沉积环境极其复杂。40 站位靠近水道底部, 砂、粉砂和粘土含量分别为 6.5%、71.7%、21.8%, 该站位沉积物组成及分选性 ($\sigma = 1.74$) 与其它站位明显不同, 沉积环境相对较好。

2.2.2 各海区站位间的 R 型聚类分析

聚类分析是一种多元统计方法, 在沉积物环境地球化学研究中可以更好地揭示不同站位间重金属地球化学特征的相似程度, 有助于分析和判别影响重金属含量及其分布特征的主要因素^[8]。按沉积物的组成及粒度分析参数分类讨论, 有利于正确判断研究海区沉积环境特征和重金属来源。在粒度分析的所有参数中, 标准偏差表示沉积物粒度的分选程度, 即颗

粒大小的均匀性。分选程度与沉积环境密切相关, 在水环境动力的作用下, 表层沉积物只留下与该动力相适应的那部分粒径。本文以各站位表层沉积物的组成 (砾、砂、粉砂、粘土) 含量和粒度分析参数中的标准偏差为变量, 采用 SPSS 统计分析软件, 对各站位进行了 R 型聚类分析 (图 3)

按沉积物类型及沉积环境特征, 可以将研究海域分为七个主要不同群组, 第七组明显与其它组不同, 而第一、二、三、四组相近。第一组中砾、砂、粉砂、粘土平均含量分别为 0.383%、69.54%、26.63%, 标准偏差平均为 1.64 (表 1)。这一组沉积物主要代表厦门西港沉积环境较好的海区, 属半封闭型小海湾, 水动力较弱, 受九龙江输沙影响较小, 因此沉积物主要来源于外港方向由潮流带入的细粒泥砂, 粉砂和粘土占 95% 以上。第二组的 8 个站位中, 砾、砂、粉砂、粘土平均含量分别为 4.04%、20.95%、52.77%、22.24%, 平均标准偏差为 3.21。该组沉积物主要位于嵩屿—鼓浪屿水道南段和五通湾口多种水流交汇区, 属砂—粉砂—粘土型, 虽以粉砂为主, 但砂和粘土含量均在 20% 左右, 含有少量砾石, 分选性较差, 反映出较复杂的水动力环境。第三组的两个站位位于五通湾口, 该组沉积物属砂质粉砂, 各组分含量相对均匀, 砾、砂、粉砂、粘土平均含量分别为 10.37%、29.65%、40.97%、19.01%, 标准偏差平均为 3.98。沉积物分选性很差。第四组有 8 个站位, 砾、砂、粉砂、粘土平均含量分别为 10.99%、41.20%、32.87%、14.9%, 标准偏差平均为 3.75。该组沉积物主要位于金门—厦门水道和九龙江口部分站位, 为粉砂质砂, 与第三组相比, 水动力增强。与第四组相比, 尽管第五组的 2 个站位同样分属于九龙江口和金—厦水道两个海区, 但该组沉积物砾石含量最高, 砾、砂、

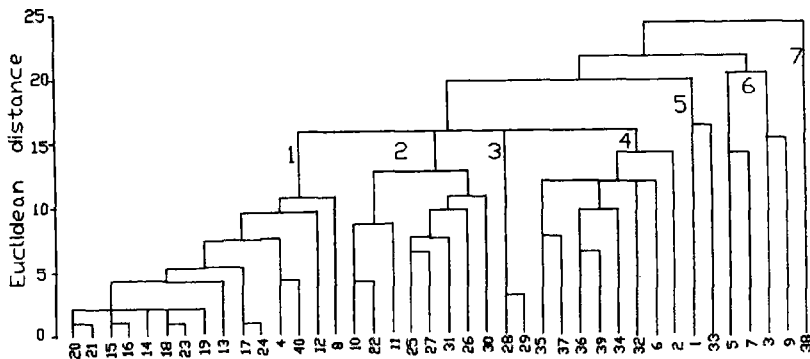


图 3 各站位沉积物聚类分析

Fig 3 Cluster analysis of sediments for each site

粉砂、粘土平均含量分别为 16.37%、57.28%、18.7%、7.65%，标准偏差平均为 3.47。在研究海域中水动力作用最强。第六组的 4 个站位均位于九龙江口，砾、砂、粉砂、粘土平均含量分别为 0.42%、88.53%、8.44%、2.61%，标准偏差平均为 1.7。该组属典型的砂沉积区，且沉积物分选性相对较好，这些海域水动力较强且稳定。第七组为 38 号站位，沉积物样品中砾、砂、粉砂、粘土平均含量分别为 4.84%、65.46%、21.84%、7.86%，标准偏差平均为 3.17。该站位沉积类型虽为粉砂质砂且靠近第四组所代表的海域，但砾砂含量较低，说明其水动力较相邻海域弱。

2.3 厦门海域表层沉积物重金属环境地球化学行为探讨

对沉积物中重金属环境地球化学行为的研究已得出普遍的结论：不同物质组成和不同粒级的沉积物对重金属的富集程度不同，砂质含量较高的沉积物重金属含量低，而粘土矿物组成的细粒沉积物重金属含量往往较高。大颗粒沉积物（如粗砂）中的重金属多数来自原生矿物，细粒沉积物中重金属含量反映了人类活动等因素的影响结果^[9~12]。

表 2 各群组中重金属平均含量 ($\mu\text{g g}^{-1}$)

Table 2 Mean content of heavy metals in each cluster ($\mu\text{g g}^{-1}$)

群组	元素						
	Cu	Zn	Pb	Cd	Cr	Hg	As
一	30.3	179	59.1	0.034	46.6	0.014	15.5
二	14.4	127	35.7	0.0085	38.3	0.008	11.4
三	11.6	83.6	25.0	-	28.4	0.005	6.50
四	10.4	58.8	23.9	0.013	25.7	0.005	7.59
五	9.92	88.8	23.3	-	27.4	0.005	8.25
六	6.04	52.4	28.5	0.013	13.4	0.003	4.18
七	8.66	37.0	24.1	-	11.5	0.005	16.6

按群组对所测重金属元素含量（表 2）和沉积物的各粒级组成（表 3）进行变化趋势分析，其结果为：在一至四群组中，Zn 含量直线下降，其降幅与 $\phi = 6, 9$ 粒级在这些群组中降幅相同。在五、六、七群组中， $\phi = 6, 9$ 粒级含量较少，而此时 Zn 含量分布与 $\phi = -1, 0$ 粒级分布趋势一致。在 $\phi = -1, 0$ 粒级含量占绝对优势的第五组，Zn 含量为 $88.8 \mu\text{g g}^{-1}$ ，与大陆地壳中的丰度 ($85 \mu\text{g g}^{-1}$)^[13] 及该地区天然风化背景值 ($104 \mu\text{g g}^{-1}$)^[7] 接近，说明 Zn 主要富集于中、细粉砂和粗粘土中，而粗砂和细砾中的 Zn 含量是该区域背景值的反映。同时，在第五组中，Cu、Pb、As、Cr 的含量与该地区背景值^[13] 相近。因此，粗砂和细砾中 Zn、Cu、Pb、As、Cr 含量基本能反映该地区自然背景值，这与刘俐等人^[14] 在研究渤海湾表层沉积物重金属时获得结论一致。各群组中的 Cu 含量分布与 $\phi = 5 \sim 10$ 粒级分布特征相同，而与 $\phi = 1$ 粒级分布趋势相反，说明 Cu 主要富集于粉砂和粘土中。Pb 在一、二、三群组中与 $\phi = 6 \sim 9$ 粒级分布趋势相同，在四~七群组中则与 $\phi = 2, 3$ 加上 $\phi = 6, 7, 8, 9$ 粒级分布趋势吻合，因此 Pb 可在中、细砂、粉砂及粗粘土中富集。As 和 Cr 在一、二、三群组中分布与 $\phi = 6 \sim 9$ 粒级相同且变化幅度一致，在四~七群组中，随着 $\phi = 6 \sim 9$ 粒级含量的减少，其分布趋势与 $\phi = -1, 0$ 粒级相似，根据粒级间距离推断：As 和 Cr 主要富集于中、细粉砂和粗粘土中，细砾中的 As、Cr 反映其在该地区的背景值大小。Hg 在各群组中含量分布趋势与 $\phi = 10, 11$ 粒级相同，因此，Hg 主要富集于粘土中。Cd 在研究海域含量较小，只在一、二、四、六群组中检测到，结合各粒级在各群组中分布特征，在一、二群组中，走势与 $\phi = 6 \sim 9$ 粒级相似，在四、六群组中则与 $\phi = 1, 2$ 粒级相似。

表 3 各群组中各粒级平均含量 (%)

Table 3 Mean content of grade in each cluster

群组	各粒级 (ϕ)													
	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
一	0	0	0	0	0.11	1.10	2.62	6.25	14.32	24.42	24.54	15.0	6.62	5.02
二	1.14	2.90	5.78	1.38	4.66	4.82	4.30	6.08	11.07	18.06	17.55	11.62	5.92	4.70
三	3.83	6.55	14.6	1.93	6.81	3.50	2.81	4.78	8.36	14.17	13.66	9.46	5.22	4.33
四	3.84	7.14	11.16	7.79	16.57	3.46	2.23	3.78	6.57	11.56	10.97	7.56	4.03	3.35
五	4.07	12.31	28.36	13.18	10.50	3.81	1.43	2.00	3.88	6.54	6.28	4.02	1.99	1.65
六	0	0.42	14.24	36.65	31.80	4.79	1.06	1.69	2.08	2.52	2.15	1.42	0.70	0.48
七	0	4.84	13.56	15.85	28.33	6.95	0.77	3.43	4.82	7.02	6.57	4.23	2.04	1.59

在九龙江口区, 尽管 1、2、3、4 站位相距很近, 却分属于 4 个群组, 印证了这一海区水动力环境的复杂性。4 号站位所测重金属含量均比邻近的其它站位高, 尤其是 Zn、Pb、Cd、Cr、Hg 的含量远远高于邻近的其它站位, 其中 Zn、Pb、Cd 的总含量在所有站位中最高。该站位靠近金鼎油码头, 受鸡屿影响, 九龙江水和潮流在此形成逆流回旋区^[15], 使大部分污染物在此沉积。该站位沉积物为粉砂质泥, 而相邻的其它站位为中粗砂或贝壳砂, 说明该站位沉积环境较好, 有利于污染物的聚沉。在第一群组的 16 站位, 尽管各粒级组成与相邻站位相似, Cu 含量 ($126\mu\text{g/g}$) 却远远高于相邻的其它站位, 这与该站位处于船坞码头, 船只在此进行修理、电镀不无关系。

3 结论

(1) 厦门海域各海区甚至各站位间水动力条件及沉积环境差别较大, 表层沉积物中 Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、Hg、As 的含量分布没有明显的规律性。

(2) 从表层沉积物粒度分析及各站位间 R 型聚类分析发现, 西港区整体上沉积环境相对较好, 粉砂和粘土组分 $> 95\%$; 九龙江口和东侧水道区沉积环境复杂, 表层沉积物包含了从细砾到细粘土的所有组分, 且各站位间各组分含量差异较大。五通湾口区沉积环境相对稳定。

(3) 表层沉积物中重金属及各粒级含量在各群组中的分布特征证明, Zn、As、Cr 主要富集于中粉砂、细粉砂和粗粘土中 ($\phi = 6 \sim 9$); Cu、Cd 主要富集于粉砂和粘土中 ($\phi = 5 \sim 11$); Pb 主要富集于中砂、细砂、粉砂和粗粘土中 ($\phi = 2 \sim 9$); Hg 主要富集于粘土中 ($\phi = 9 \sim 11$)。海域内重金属元素在各站位的含量取决于其相应的富集组分多少, 个别站位受元素的物源影响明显, 同时, Zn、Cu、Pb、As、Cr 在细砾和粗砂中的含量可以反映其环境背景值大小, 可作为一种快速且实用的识别沉积物人为污染的方法。

参考文献 (References)

- 徐茂泉, 陈友飞. 海洋地质学. 福建厦门: 厦门大学出版社, 1999 103 [Xu Maoquan, Chen Youfei. Marine Geology. Xiamen Guangzhou: Xiamen University Press, 1999. 103]
- 刘宝金. 沉积岩石学. 北京: 地质出版社, 1980 [Liu Baojin. Sedimentary Petrology. Beijing: Geology Press, 1980]
- 廖文卓, 潘皆再, 陈松. 九龙江口厦门港沉积物中镉、铜、铅的分布和行为. 台湾海峡, 1983 2(1): 47~53 [Liao Wenzhuo, Pan Jiezai, Chen Song. The distribution and behaviour of Cd, Cu, Pb in the surface sediments of the Jiulong River Mouth and Xiamen Harbour, Taiwan Strait, 1983 2(1): 47~53]
- 陈松, 许爱玉, 骆炳坤. 厦门港表层沉积物中重金属的富集和来源探讨. 台湾海峡, 1987 6(2): 139~144 [Chen Song, Xu Aiyu, Luo Bingkun. Distribution and sources of heavy metals in sediments from the Xiamen Harbor, Taiwan Strait, 1987 6(2): 139~144]
- 洪华生, 林杰. 厦门港、九龙江口海洋微表层营养盐、有机物、微量元素分布特征初探. 海洋学报, 1988 10(6): 696~703 [Hong Huasheng, Lin Jie. Distribution characteristics of nutrient, organic matter and trace metals in ocean micro-layer from Xiamen Harbor and Jiulong River Mouth. Acta Oceanologica Sinica, 1988 10(6): 696~703].
- 吴瑞瑜, 林月玲. 九龙江口厦门海区表层沉积物中重金属人为增量的测定. 海洋学报, 1988 10(6): 772~777 [Wu Yuyuan, Lin Yueying. Measurement of artificial increment of heavy metals in surface sediment from Jiulong River Mouth of Xiamen seas. Acta Oceanologica Sinica, 1988 10(6): 772~777]
- 刘琼玉, 洪华生, 洪丽玉. 厦门西海域表层沉积物重金属的分布特征及来源探讨. 海洋通报, 1995 14(6): 46~52 [Liu Qiongyu, Hong Huasheng, Hong Liyu. Distribution features and sources of Cu, Pb, Zn and Cd in Xiamen western sea sediments. Marine Science Bulletin, 1995 14(6): 46~52]
- Simonov V, Massart D L, Andreev G M, et al. Assessment of metal pollution based on multivariate statistical modeling of 'hot spot' sediments from the Black Sea. Chemosphere, 2000 41: 1411~1417
- 陈静生, 王飞越, 宋吉杰, 等. 中国东部河流沉积物中重金属含量与沉积物主要性质的关系. 环境化学, 1996 15(1): 8~14 [Chen Jingsheng, Wang Feiyue, Song Jijie, et al. Relation of geochemical and surface properties to heavy metal concentrations of sediments from eastern Chinese rivers. Environmental Chemistry, 1996 15(1): 8~14].
- Chen JS, Wang FY, Li XD, et al. Geographical variations of trace elements of the major rivers in eastern China. Environment Geology, 2000 39(12): 1334~1340
- Lorenzo G, Isti. Heavy metal contamination of brown seaweed and sediments from the UK coastline between the Wear river and the Tees river. Environment International, 2004 26: 275~286
- Huang Kuoming, Lin Saulwood. Consequences and implication of heavy metal spatial variations in sediments of the Keelung River drainage basin, Taiwan. Chemosphere, 2003 53: 1113~1121
- 赵一阳, 鄢明才. 中国浅海沉积物地球化学. 北京: 科学出版社, 1994 [Zhao Yiyang, Yan Mingcai. Geochemistry of sediments of the China shelf sea. Beijing: Science Press, 1994]
- 刘俐, 宋存义, 熊代群, 等. 渤海湾表层沉积物重金属在不同粒级有机-矿质复合体中的分布. 环境科学研究, 2006 19(1): 75~79 [Liu Li, Song Cunyi, Xiong Daiqun, et al. Distribution of heavy metals in different fractions of organo-mineral aggregates in surficial sediment of Bohai Bay. Research of Environmental Sciences, 2006 19(1): 75~79]
- 陈金泉, 傅子琅, 何发祥, 等. 厦门湾潮流、余流及其对泥沙、污染物质迁移的影响. 台湾海峡, 1985 4(1): 16~20 [Chen Jinquan, Fu Zilang, He Faxiang, et al. Tidal and residual currents in the Xiamen bay and their effects on the movement of silt and polluting substances

Environmental Geochemistry Characteristics of Heavy Metals and Depositional Environment in Xiamen Seas

LI Gui hai¹ CAO Zhi min¹ LAN Dong zhao^{1,2} XU Jiang² WANG Shan shan¹

(1. College of Marine Geosciences Ocean University of China Qingdao Shandong 266100)

2 Third Institute of Oceanography State Oceanic Administration Xiamen Fujian 361005)

Abstract Environmental geochemistry characteristics of heavy metals and depositional environment of Xiamen seas were investigated by means of content of heavy metals analysis size analysis of surface sediments and by means of cluster analysis to the testing results. The results show that the big difference of depositional environment exists among the sea areas different site of the same sea area. Content of heavy metals depends on the key enrichment components in each site there were a rather large influence by provenance of separate element on separate site. It was found that the content of Zn, Cu, Pb, As, Cr in fine gravel and coarse sand may indicate their original value in the territory.

Key words depositional environment heavy metals environmental geochemistry size analysis cluster analysis