

广东大亚湾底质重金属分布特征与环境质量评价

李学杰

(1. 同济大学教育部海洋地质重点实验室, 上海 200092;
2. 广州海洋地质调查局海洋地质科学发展战略研究所, 广州 510760)

提要:大亚湾是粤东的大型海湾, 毗邻深港, 其环境质量现状及发展趋势颇受关注。对大亚湾海域 45 个表层站位、1 口浅钻及 2 个柱状样重金属元素 Hg、As、Cd、Cu、Pb、Cr、Zn 进行分析, 并对底质环境质量进行定量评价。其结果: ①大亚湾海域 Hg、As、Cu 的污染指数 P_i 值均小于 1.0, 超标率为 0, 表明全区未受这些因子污染; ②Cd、Zn、Pb、Cr 的污染指数 P_i 值部分大于 1.0, 表明受到这些因子不同程度的污染, 其中 Pb 的超标率最高, 达 93.3%, 污染指数 P_i 值为 0.83~2.25, 为良好—中等污染, 总体为轻微污染; Zn 的超标率为 76.9%, P_i 值为 0.25~2.63, 变化较大, 总体为轻微污染; Cd 的超标率为 60.0%, P_i 值为 0.50~1.78, 良好—轻微污染; Cr 的超标率为 17.8%, P_i 值为 0.49~1.90, 良好—轻微污染; ③综合污染指数为 1.08~2.21, 平均 1.37, 表明本区均不同程度地受重金属污染, 总体属轻微污染, 其中范和港污染最为严重, SQI 值多在 1.5 以上, 其次为中央列岛附近海域。湾口和澳头—霞涌近岸海域污染较轻。从钻孔及柱状样的重金属含量分布来看, 在表层没有明显增多的趋势。

关 键 词: 重金属; 海洋环境; 大亚湾
中图分类号: P618.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2003)04-0429-07

大亚湾是粤东半封闭的大型海湾^[1], 总面积约 500 km², 毗邻深港, 是广东省的重要港口和旅游区。沿岸地区经济发达, 有著名的大亚湾核电站, 并以优越的地理位置和优美的环境吸引南海石化落户该区, 因此其环境质量现状及发展趋势受到极大的关注。

1980 年代以来, 对广东海岸带和滩涂资源与环境进行了系统的调查^[2-3], 海岸带的环境质量与污染评价^[4-6]、海岸侵蚀以及海平面上升对海岸带的影响^[7]等已进行了广泛的探讨。近年来重视对海岸带底质重金属分布特征研究及底质质量的评价^[10-13]。笔者试图通过对大亚湾全区进行大量的取样和分析, 研究底质的重金属分布特征并对底质质量状况进行评价。

1 材料与方法

大亚湾三面环山, 围岩以燕山期花岗岩和下古生代碎屑岩为主。海湾的滨海区及岛屿周围底质变化大, 而浅海区主要为粘土质粉砂和粉砂质粘土^[14], 变化不大。1998 至 1999 年, 对大亚湾海域进行海洋环境地质调查, 共取 45 个站位表层样、2 个柱状样及 1 口浅钻 (图 1), 其中柱状样 ZS87-1、

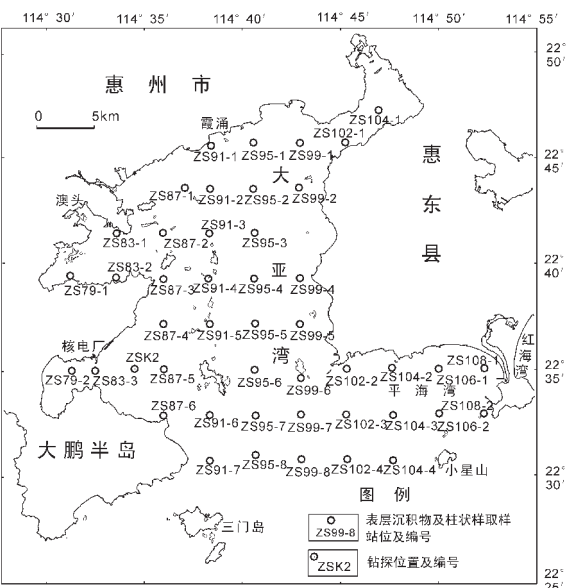


图 1 取样站位图
Fig. 1 Location map of sampling sites

收稿日期: 2002-07-30; 改回日期: 2003-05-20
基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (G2000078501) 资助。
作者简介: 李学杰, 男, 1964 年生, 博士生, 高级工程师, 主要从事海洋地质与第四纪地质研究; E-mail: xuejieli@263.net。

ZS99-2 长分别为 165cm 和 160cm, 钻孔 ZSK2 进尺为 35m, 但仅对上部 8.9m 的松散沉积物进行取样分析。其中柱状样按 10cm 连续取样, 钻孔按 15cm 取样, 两者共取 85 个样品, 加上表层样, 总共 130 个样品。

表层沉积物样品中 36 个站位分析了 Hg、As、Cd、Cu、Pb、Cr、Zn 等 7 项重金属元素, 其余 9 个站位、钻孔及 2 个柱状样的样品分析 Cu、Pb、Cr、Zn 等 4 项。其中 Hg、As、Cd、Zn 采用原子吸收测定, Cu、Pb、Cr 采用光谱定量测定。

2 结果

2.1 表层沉积物重金属分布特征

表层样测试结果来看, Cr、Zn 含量较高, Hg、Cd 含量低, 各项测试结果的含量变化范围见表 1。

表 1 底质重金属元素含量 10^{-6}

Table 1 Heavy metal content (10^{-6}) of the substrate

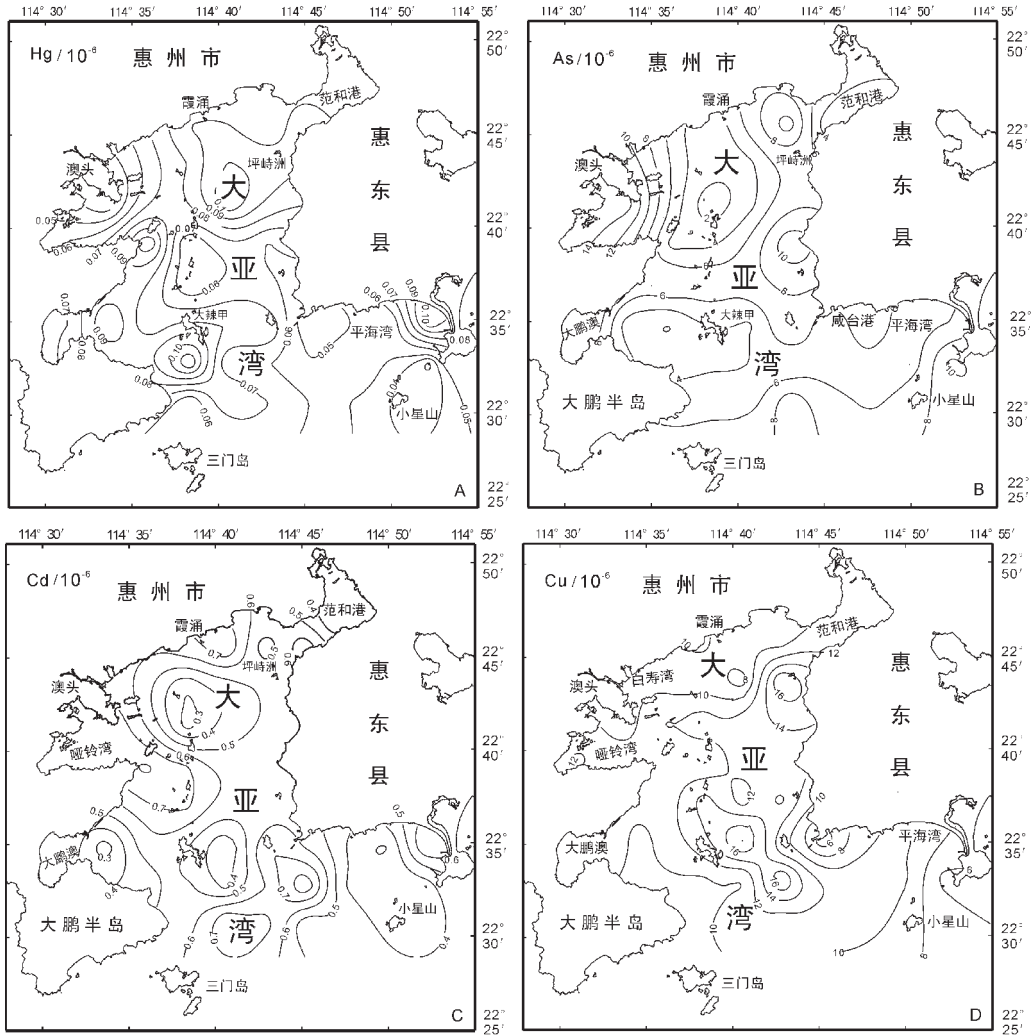
特征值	Hg	As	Cd	Cu	Pb	Cr	Zn
最小值	0.03	0.89	0.25	4.6	20.7	49.4	20
最大值	0.12	14.83	0.89	18.7	56.3	189.8	210
平均值	0.07	5.94	0.54	11.0	34.5	81.2	101

Hg 含量分布特征: 表层沉积物样品 Hg 含量为 $0.03\times 10^{-6}\sim 0.12\times 10^{-6}$, 平均 0.072×10^{-6} , 总体上西部海域含量较低, 而东部海域高(图 2—A)。哑铃湾、大鹏湾含量低, 往东至许洲—大水坑一带, 含量由 0.03×10^{-6} 上升至大于 0.1×10^{-6} , 中央列岛附近以及南部湾口含量较低, 为 $0.05\times 10^{-6}\sim 0.07\times 10^{-6}$, 向东岸含量增大, 为 $0.07\times 10^{-6}\sim 0.1\times 10^{-6}$ 。

As 含量分布特征: 表层沉积物样品 As 含量为 $0.89\times 10^{-6}\sim 14.83\times 10^{-6}$, 平均 5.94×10^{-6} , 总体分布特征为中央列岛附近含量最低(图 2—B), 向东西两侧增大, 其中哑铃湾澳头港含量最高, 在 7×10^{-6} 以上, 最高为 14.83×10^{-6} , 且由港内向东含量下降。西侧由范和港至巽寮港、平海湾沿岸含量均较高, 为 $6\times 10^{-6}\sim 10\times 10^{-6}$, 大鹏澳外至大辣甲西侧, 马鞭洲西北含量最低, 小于 4×10^{-6} 。

Cd 含量分布特征: Cd 含量为 $0.12\times 10^{-6}\sim 0.89\times 10^{-6}$, 平均 0.54×10^{-6} , 其中湾顶澳头港往东南至了哥角一带、霞涌附近以及湾口咸台港南部含量较高, 为 $0.7\times 10^{-6}\sim 0.9\times 10^{-6}$, 其余大部分海域在 0.6×10^{-6} 以内(图 2—C)。

Cu 含量分布特征: Cu 含量较低, 为 $4.6\times 10^{-6}\sim 18.7\times$



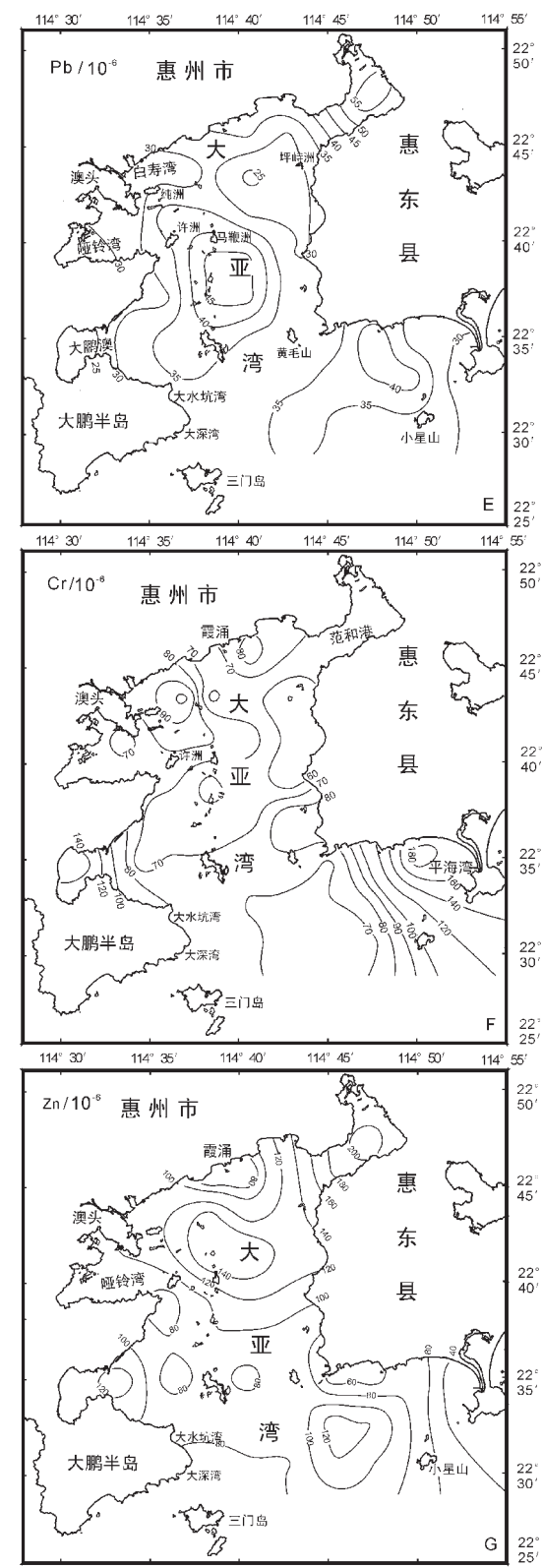


图 2 大亚湾表层沉积物重金属含量分布
Fig. 2 Distribution of the heavy metal contents in surface sediments in the Daya Bay

10^{-6} , 平均 11.0×10^{-6} , 大辣甲南部及坪峙洲南部海域是 Cu 含量的两个高峰区, 大于 12×10^{-6} , 其余海域多在 12×10^{-6} 以下, 平海湾附近含量最低(图 2—D)。

Pb 含量分布特征: Pb 含量为 $20.7 \times 10^{-6} \sim 56.3 \times 10^{-6}$, 平均 34.5×10^{-6} , 范和港含量最高, 由港内向港口含量下降, 坪峙洲西南含量最低, 马鞭洲—大辣甲及平海湾含量较高, 大鹏澳含量较低(图 2—E)。

Cr 含量分布特征: Cr 含量为 $49.4 \times 10^{-6} \sim 189.8 \times 10^{-6}$, 平均 81.2×10^{-6} , 平海湾和大鹏澳为高含量区, 在 100×10^{-6} 以上, 其他一般在 100×10^{-6} 以下(图 2—F)。

Zn 含量分布特征: Zn 含量为 $20 \times 10^{-6} \sim 560 \times 10^{-6}$, 平均 112.5×10^{-6} , 湾口东部平海湾海域是 Zn 含量的高值区, 为 $200 \times 10^{-6} \sim 500 \times 10^{-6}$, 湾内总体是东北向西南含量下降, 范和港内为 200×10^{-6} , 湾口三门岛北侧小于 80×10^{-6} , 大鹏澳含量亦较高, 为 12×10^{-6} (图 2—G)。

2.2 钻孔与柱状样重金属分布特征

ZSK2 钻孔 Pb、Cr、Cu、Zn 分布特征: 该钻孔 8.9 m 以上为全新世沉积, 其中 7.8 m 以上为海相沉积。对全新世以来的沉积物共做了 51 个样品的 Pb、Cr、Cu、Zn 分析。

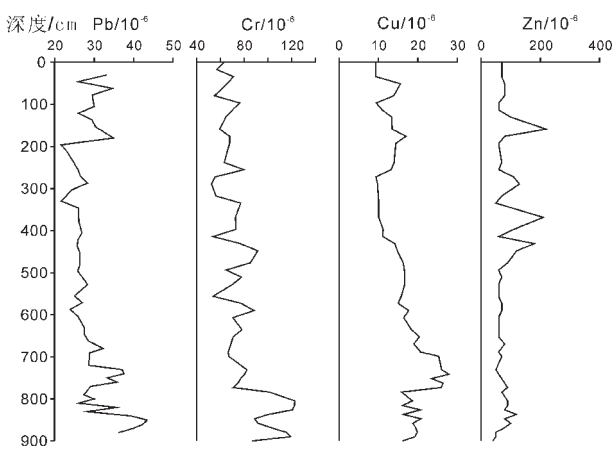


图 3 钻孔 ZSK2 重金属含量分布
Fig. 3 Distribution of the heavy metal contents in hole ZSK2

该钻孔 Pb 含量为 $21.6 \times 10^{-6} \sim 43.4 \times 10^{-6}$, 平均 29.5×10^{-6} , 其中 0~2.0 m 含量较高, 为 $21.6 \times 10^{-6} \sim 34.9 \times 10^{-6}$, 平均 26.9×10^{-6} ; 2.0~6.8 m 含量低, 为 $23.9 \times 10^{-6} \sim 32.3 \times 10^{-6}$, 平均 26.4×10^{-6} ; 7.2 m 以下含量增大, 为 $26.1 \times 10^{-6} \sim 43.4 \times 10^{-6}$, 平均 34.4×10^{-6} (图 3)。

Cr 含量为 $52.4 \times 10^{-6} \sim 122.7 \times 10^{-6}$, 平均 77.7×10^{-6} , 在 7.8 m 以下含量增大。

Cu 含量为 $9.3 \times 10^{-6} \sim 27.8 \times 10^{-6}$, 平均 16.29×10^{-6} , 6.8 m 以下含量增大。

Zn 含量为 $40 \times 10^{-6} \sim 220 \times 10^{-6}$, 平均 82×10^{-6} , 其中 1.5~5.0 m 段含量增大, 为 $50 \times 10^{-6} \sim 210 \times 10^{-6}$, 平均 102×10^{-6} 。

ZS87-1 柱状样 Pb、Cr、Cu、Zn 分布特征: 该柱状样 Pb 含量为 $16.8\times10^{-6}\sim30.1\times10^{-6}$, 平均 23.5×10^{-6} , 0~70 cm 段含量比下部高。Cr 含量为 $56.5\times10^{-6}\sim120.5\times10^{-6}$, 平均 86.3×10^{-6} , 从上往下有下降的趋势。Cu 含量 $8.4\times10^{-6}\sim16.6\times10^{-6}$, 平均 12.0×10^{-6} , 从上往下略有下降。Zn 含量 $80\times10^{-6}\sim250\times10^{-6}$, 平均 105×10^{-6} , 含量变化不大(图 4)。

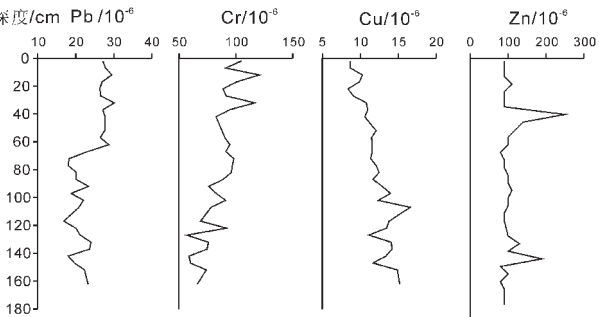


图 4 柱状样 ZS87-1 重金属含量分布

Fig. 4 Distribution of the heavy metal contents in core ZS87-1

ZS99-2 柱状样 Pb、Cr、Cu 分布特征: 该柱状样 Pb 含量为 $23.2\times10^{-6}\sim27.4\times10^{-6}$, 平均 25.8×10^{-6} , Cr 含量 $48.8\times10^{-6}\sim94.1\times10^{-6}$, 平均 71.2×10^{-6} , Cu 含量 $13.5\times10^{-6}\sim21.9\times10^{-6}$, 平均 17.5×10^{-6} (图 5)。

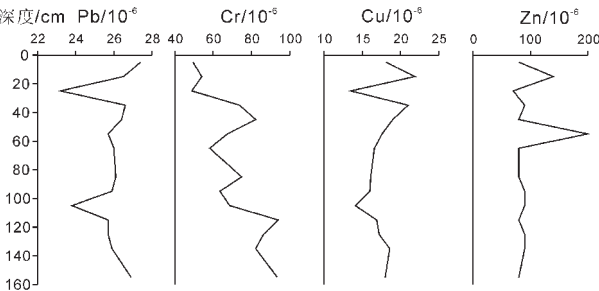


图 5 柱状样 ZS99-2 重金属含量分布

Fig. 5 Distribution of the heavy metal contents in core ZS99-2

3 底质环境质量评价与讨论

3.1 评价方法与评价标准

笔者选用底质重金属含量作为评价因子, 评级标准采用全国海岸带背景值^[2,15], 他们的标准值分别是 Hg 为 0.2×10^{-6} ; As 为 15×10^{-6} ; Cd 为 0.5×10^{-6} ; Cu 为 30×10^{-6} ; Pb 为 25×10^{-6} ; Cr 为 100×10^{-6} ; Zn 为 80×10^{-6} 。采用标准指数法对各因子进行单独评价, 其评价模式为:

$$P_i = C_i / C_s$$

P_i —第 i 因子的标准指数值; C_i —第 i 因子实测含量; C_s —第 i 因子评价标准。

当标准指数 $P_i \leq 1$ 时, 说明环境未受污染, 环境质量良好; $P_i > 1$, 说明环境受污染, 值越大, 污染越严重。

目前国内外综合评价模式很多, 笔者经比较采用半集均方差模式, 它不仅通过算术平均值考虑各因子指数对环境的影响, 也通过半集均方差对因子指数中的大值给予较大的权重, 因此, 该模式能按因子对环境影响程度不同, 综合给出环境质量状况的定量描述, 能较确切地反映环境质量状况。半集均方差定义为:

$$\bar{\rho} = \sum P_i / n \quad i=1, 2, \dots, n$$

$$S_h = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (p_i - \bar{p})^2}$$

式中: $\bar{p}$ —各因子标准指数的算数平均值

S_h —半集均方差

n —因子数

m —大于中位数半集的指数个数, 为:

$$m = \begin{cases} n/2 & \text{当 } n \text{ 为偶数} \\ (n-1)/2 & \text{当 } n \text{ 为奇数} \end{cases}$$

综合污染指数法评价模式为:

$$SQI = \bar{\rho} + S_h$$

海洋环境质量类型划分的标准如下^[2]:

3.2 评价结果

根据以上方法, 计算出大亚湾表层沉积物的单因子污染指数和综合污染指数(表 2)。可以看出:

(1) 底质 Hg、As、Cu 的污染指数 P_i 值均小于 1.0, 超标

级别	类型	指数范围
I	良好	<1.0
II	轻污染	1.0 ~ 2.0
III	中污染	2.1 ~ 5.0
IV	重污染	>5.0

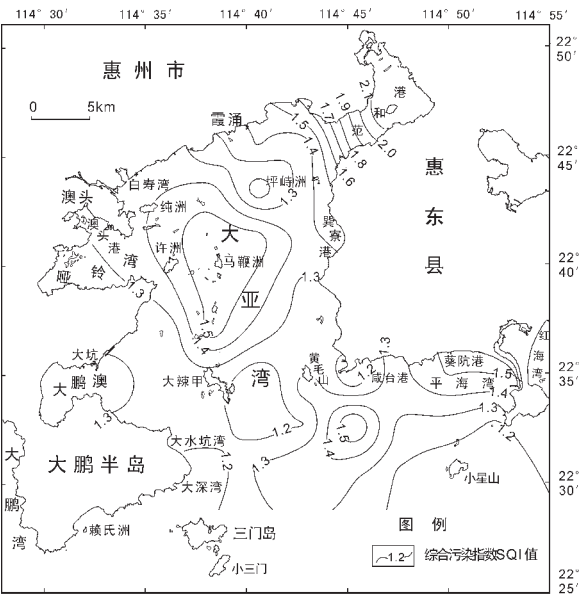


图 6 大亚湾底质环境质量评价

Fig.6 Assessment of the quality of the substrate environment of the Daya Bay

表 2 底质环境质量评价结果

Table 2 Results of assessment of the quality of the substrate environment

站 号	P _{Hg}	P _{As}	P _{Cd}	P _{Cu}	P _{Pb}	P _{Cr}	P _{Zn}	$\bar{P}$	S _%	SQI
ZS102-1	0.50	0.16	1.34	0.37	1.62	0.66	2.25	0.99	0.84	1.83
ZS102-2	0.20	0.31	1.16	0.15	1.26	0.68	0.63	0.63	0.48	1.11
ZS102-3	0.25	0.34	1.78	0.39	1.47	0.70	1.63	0.94	0.70	1.64
ZS102-4	0.30	0.44	0.82	0.36	1.38	0.61	1.50	0.77	0.55	1.32
ZS104-1	0.40	0.25	0.60	0.36	2.25	0.68	2.63	1.02	1.18	2.21
ZS104-2	0.25	0.50	0.80	0.31	1.76	1.09	0.63	0.76	0.61	1.37
ZS104-3	0.30	0.39	0.78	0.40	1.60	0.82	1.50	0.83	0.45	1.27
ZS104-4	0.25	0.38	0.98	0.36	1.26	0.68	1.25	0.74	0.45	1.18
ZS106-1	0.25	0.32	0.58	0.35	1.28	1.90	1.00	0.81	0.69	1.50
ZS106-2	0.25	0.32	0.60	0.35	1.70	1.20		0.74	0.62	1.36
ZS108-1	0.55	0.40	1.44	0.27	1.20	1.73	0.25	0.83	0.66	1.49
ZS108-2	0.20	0.70	0.72	0.18	1.10	1.42	0.38	0.67	0.50	1.17
ZS79-1	0.30	0.95	1.10	0.41	1.40	0.82	1.13	0.87	0.36	1.24
ZS79-2*				0.36	0.83	1.49		0.89	0.60	1.49
ZS83-1	0.15	0.99	1.60	0.30	0.97	0.66	1.25	0.85	0.50	1.34
ZS83-3	0.50	0.18	0.50	0.35	1.32	0.79	1.63	0.75	0.60	1.36
ZS87-1*				0.29	1.08	1.05		0.81	0.27	1.08
ZS87-2*				0.40	1.54	0.84	1.88	0.93	0.61	1.54
ZS87-3	0.55	0.24	1.64	0.35	1.28	0.76	0.88	0.81	0.55	1.36
ZS87-4	0.40	0.54	1.36	0.35	1.14	0.61	1.00	0.77	0.42	1.19
ZS87-5	0.35	0.12	1.12	0.35	1.48	0.73	0.88	0.72	0.51	1.22
ZS91-1	0.45	0.13	1.28	0.35	1.37	0.61	1.00	0.74	0.50	1.24
ZS91-2	0.40	0.19	0.60	0.30	1.23	0.58	1.88	0.74	0.72	1.46
ZS91-3	0.40	0.06	0.54	0.44	1.46	0.83	2.00	0.82	0.78	1.59
ZS91-4	0.25	0.24	1.44	0.35	1.83	0.57	1.25	0.85	0.70	1.55
ZS91-5	0.25	0.51	1.44	0.49	1.82	0.63	1.25	0.91	0.64	1.55
ZS91-6	0.60	0.25	1.04	0.32	1.38	0.79	1.25	0.80	0.44	1.25
ZS91-7	0.25	0.37	1.12	0.33	1.33	0.72	0.75	0.70	0.44	1.14
ZS95-1	0.45	0.44	1.60	0.31	1.44	0.86	1.00	0.87	0.54	1.41
ZS95-2	0.50	0.23	0.90	0.23	0.95	0.62	1.38	0.69	0.45	1.13
ZS95-3	0.55	0.21	0.88	0.42	1.20	0.78	2.00	0.86	0.68	1.55
ZS95-4*				0.42	1.86	0.65	1.50	1.11	0.75	1.86
ZS95-5*				0.37	1.85	0.65	2.38	1.31	0.54	1.85
ZS95-6	0.40	0.25	0.62	0.62	1.35	0.78	0.88	0.70	0.39	1.09
ZS95-7	0.30	0.27	0.74	0.32	1.23	0.69	1.25	0.69	0.45	1.14
ZS95-8	0.40	0.32	1.56	0.38	1.23	0.73	1.00	0.80	0.51	1.32
ZS99-1	0.40	0.74	0.90	0.30	1.16	0.69	1.63	0.83	0.50	1.33
ZS99-2*				0.60	1.10	0.49		0.73	0.37	1.10
ZS99-4	0.30	0.77	1.14	0.41	1.21	0.50	1.38	0.82	0.44	1.26
ZS99-5*				0.48	1.27	0.95	0.50	0.80	0.35	1.15
ZS99-6	0.40	0.52	1.40	0.35	1.29	0.75	1.38	0.87	0.49	1.36
ZS99-7	0.30	0.29	1.20	0.60	1.32	0.68	1.00	0.77	0.42	1.19
ZS99-8	0.35	0.63	1.46	0.37	1.58	0.65	1.00	0.86	0.54	1.41
ZSK2-1*				0.31	1.33	0.63		0.76	0.57	1.33
范 围	0.15~0.60	0.06~0.99	0.50~1.78	0.15~0.62	0.83~2.25	0.49~1.9	0.25~2.63	0.63~1.31	0.27~1.18	1.08~2.21
平均值	0.36	0.39	1.08	0.37	1.37	0.82	1.28	0.82	0.55	1.37
超标率%	0	0	60.0	0	93.3	17.8	76.9			

注:*为分析项目不全,结果仅供参考,作图时没有采用。

率为 0,表明全区未受这些因子污染,其中 Hg 的指数只有 0.15~0.66,远低于评级标准,表明本区 Hg 的背景值低。

(2)底质 Cd、Zn、Pb、Cr 的污染指数 P_i 值部分大于 1.0,表明受到这些因子不同程度的污染,其中 Pb 的超标率最高,达 93.3%,污染指数 P_i 值为 0.83~2.25,平均 1.37,为轻微—中等污染;Zn 的超标率为 76.9%, P_i 值为 0.25~2.63,平均 1.28,变化较大,总体为轻微污染;Cd 的超标率为 60.0%, P_i 值为 0.50~1.78,平均 1.08,良好—轻微污染;Cr 的超标率为 17.8%, P_i 值为 0.49~1.90,平均 0.82,总体良好。

(3)综合污染指数为 1.08~2.21,平均 1.37,表明本区总体以轻微污染为主,不同位置受重金属污染程度不同,其中范和港污染最为严重(图 6),SQI 值多在 1.5 以上;其次为中央列岛附近海域;湾口和澳头—霞涌近岸海域污染较轻。

3.3 讨 论

从 ZSK2 钻孔重金属分布来看,Pb、Cr、Cu 均在 7 m 以下含量明显增大,该层位以下属海陆过渡相环境,只有 7 m 以上才属正常浅海^[6],因此,对这些元素含量分布起控制作用的主要是沉积环境和沉积物来源本身。但结合柱状样,这些元素在

顶部 1~2 m,含量也略有上升,这与人类活动造成的污染可能有一定关系。

底质重金属面上分布来看,不同元素的分布特征有很大的差异,也表明主要受不同围岩性质不同的控制。但范和港的综合污染指数明显较高,尤其是 Pb、Zn 等元素含量明显偏高,可能与该区人类活动频繁,尤其是海洋养殖多,且水动力弱,水体交换差有关。

从底质和水质^[10]污染来看,大亚湾目前污染小,水质较好,但大亚湾属半封闭海湾,潮差小^[10],水动力弱,其自身净化能力差,属于易污染、难处理的海域,因此要特别注意环保。

参考文献 (References):

[1] 吴桑云,王文海. 海湾分类系统研究[J]. 海洋学报, 22(4):83~89.
Wu Sangyun,Wang Wenhai.Study on the classification system of bays [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2000, 22(4): 83~89 (in Chinese with English abstract).

[2] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志,第九分册(广东东部湾) [M]. 北京:中国海洋出版社,1998.
Compilation Committee of China Bay Records. China Bay Records, No.9 (Bays off Eastern Guangdong) [M]. Beijing: Ocean Press, 1998 (in Chinese).

[3] 罗章仁,应秩甫,杨干然,等. 华南港湾[M]. 广州:中山大学出版社,1992.
Luo Zhangren, Ying Zhifu, Yang Ganran, et al. The bays off southern China [J].Guangzhou:Zhongshan University Press 1992 (in Chinese).

[4] 林祖亨,李国祺,林幸青,等. 广东海岛环境质量[M]. 广州:广东科技出版社,1995.
Li Zhuheng, Li Guoqi, Li Xingqing, et al. Environmental Quality of Islands in Guangdong [M]. Guangzhou: Guangdong Scientific and Technologic Press, 1995 (in Chinese).

[5] 丘耀文,王肇鼎. 大亚湾海域重金属潜在生态危害评价 [J]. 热带海洋,1997,16(4): 49~53.
Qiu Yaowen, Wang Zhaoding. An assessment of potential risk of heavy metals in culturing water atea of Daya Bay [J]. Tropic Oceanology, 1997, 16(4): 49~53 (in Chinese with English abstract).

[6] 温伟英,何悦强,郑庆华,等. 大亚湾的环境研究 [J]. 热带海洋, 1992,11(2): 25~30.
Wen Weiyang, He Yueqiang, Zheng Qinghua, et al. A study on the environment of Daya Bay [J]. Tropic Oceanogarphy, 1992, 11(2): 25~30 (in Chinese with English abstract).

[7] 李祥云,陈虹勋,李传荣,等. 大亚湾悬浮物和底质中主要矿物的分布特征[J]. 热带海洋,1989,8(1):34~42.
Li Xiangyun, Chen Hongxun, Li Chuanrong, et al. Distribution characteristics of major minerals of suspended matters and sediments in Daya Bay [J]. Tropic Oceanography, 1989, 8(1): 34~42 (in Chi-

nese with English abstract).

[8] 郑庆华,梁自强,何悦强,等. 大亚湾表层沉积物中污染物质的地球化学行为研究[J]. 热带海洋,1992,11(1):65~71.
Zheng Qinghua, Liang Ziqiang, He Yueqiang, et al. Geochemical behaviour of the pollutants in surface sediments of Daya Bay [J]. Tropic Oceanography, 1992, 11(1): 65~71 (in Chinese with English abstract).

[9] 黄镇国,谢先德,范锦春,等. 广东海平面变化及其影响与对策 [M]. 广州:广东科技出版社,2000.
Huang Zhenguo, Xie Xiande, Fan Jinchun, et al. The Sea-level Changes in Guangdong and Their Impact and Countermeasures to Them [M]. Guangzhou: Guangdong Scientific and Technical Press, 2000 (in Chinese)

[10] 甘居利,林钦,贾晓平,等. 红海湾底质重金属分布与背景值探讨[J]. 热带海洋,1999,18(2):64~71.
Gan Juli, Lin Qin, Jia Xiaoping, et al. Distribution and Background values of heavy metals in surficial sediments of Honghai Bay [J]. Tropic Oceanology, 1999, 18(2): 64~71 (in Chinese with English abstract).

[11] Brack K, Johannesson L T, Stevens R L. Accumulation rates and mass calculations of Zn and Hg in recent sediments, Göta älv estuary, Sweden [J]. Environmental Geology, 2001, 40: 1232~1241.

[12] Chen Z, Kostaschuk R, Yang M. Heavy metal on tidal flats in the Yangtze Estuary, China [J]. Environmental Geology, 2001, 40 (6): 742~749.

[13] Menon M G, Gibbs R J, Phillips A. Accumulation of mud and metals in the Hudson River estuary turbidity maximum [J]. Environmental Geology, 1998, 34:214~222.

[14] 李学杰,冯志强,林进清,等. 广东大亚湾海洋地质环境与潜在地质灾害[J],中国地质,2002,29(3): 321~325.
Li Xuejie, Feng Zhiqiang, Lin Jinqing, et al. Marine geological environment and potential geohazards in the Daya Bay off the Guangdong coast [J]. Geology in China, 2002, 29 (3): 321~325 (in Chinese with English abstract).

[15] 南沙海域环境质量研究专题组. 南沙群岛激起邻近海域环境质量研究 [J]. 北京:海洋出版社,1996.
Special-Subject Team of Research on the Quality of the Marine Environment near the Nasha Islands. Research of environmental quality of the sea area near the Nasha Islands [J]. Beijing: Ocean Press, 1996 (in Chinese).

[16] 冯志强,李学杰,林进清,等. 广东大亚湾海洋地质环境与地质灾害评价 [M].武汉:中国地质大学出版社,2002.
Feng Zhiqiang, Li Xuejie, Lin Jinqing, et al., Integrated Assessment of Marine Geological Environment in Daya Bay, Guangdong [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2002 (in Chinese).

Distribution of heavy metals in substrate of the Daya Bay, Guangdong,
and assessment of the quality of the seafloor environment

LI Xu-jie^{1,2}

(1. Lab of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China;
2. Guangzhou Marine Geology Survey, Guangzhou 510760, China)

Abstract: The Daya Bay is a big bay in eastern of Guangdong, adjoining Shenzhen and Hongkong. The current state and tendency of its environment attract attention of many researchers. The heavy metallic elements Hg, As, Cd, Cu, Pb, Cr and Zn in 45 samples of surface sediments, 85 samples from one drilling hole and 2 cores in the Daya Bay were analysed. Based on the distribution of heavy metals, the substrate environment was quantitatively assessed. The results are as follows. (1) The pollution indices P_i of Hg, As and Cu are all <1.0 , suggesting that the entire bay is not polluted by these factors. (2) Some pollution indexes of Cd, Zn, Pb and Cr are >1.0 , suggesting that the bay is polluted by these factors to different degrees, of which the pollution index of Pb changes from 0.83 to 2.25, indicating low to moderate pollution and on the whole slight pollution; the index of Zn changes greatly from 0.25 to 2.63, generally showing slight pollution; the index changes from 0.50 to 1.78, showing low to slight pollution; the index of Cr changes from 0.49 to 1.90, showing low to slight pollution. (3) The synthetic pollution index (SQI) varies from 1.08 to 2.21, with a mean of 1.37, suggesting that the area is polluted by heavy metals to different degrees, generally showing slight pollution. The most serious pollution appears in the Fanhe Harbor, with most SQI values >1.5 , and the second most serious pollution appears in the sea area near the Central islands. The mouth of the bay and the sea area off the coast from Aotou to Xiayong are less polluted. The contents of heavy metals on the surface have no marked tendency of increase, as shown from the distribution of the heavy metal contents of samples from the drilling hole and cores.

Key words: heavy metal;marine environment;Daya Bay