

广西钦州湾—防城港潮间带表层沉积物 重金属生态风险评价*

黎清华¹, 万世明², 李安春², 何 军¹

(1. 中国地质调查局 武汉地质调查中心, 湖北 武汉 430205;

2. 中国科学院 海洋研究所海洋地质与环境重点实验室, 山东 青岛 266071)

摘 要:对广西钦州湾-防城港潮间带表层沉积物中的重金属元素 Hg, Cd, As, Pb, Cu, Cr 和 Zn 的质量分数和空间分布特征及其潜在生态危害进行了分析和评价。钦州湾潮间带表层沉积物中的重金属元素的质量分数相对较低, 均在国家一级标准之内。空间分布上, 从防城港—企沙—鸡墩头—三娘湾—沙角, 重金属元素含量有逐渐增加的趋势, 尤其在企沙 QZ-07、三娘湾 QZ-09 和沙角地区的 QZ-08 剖面的质量分数最高。其中 Cd, Cu 和 Zn 的最高值出现在沙角地区 QZ-08 剖面, 其平均质量分数分别达到了 0.14, 29.15 和 64.56 $\mu\text{g/g}$; Hg, As, Cr 和 Pb 的最高值出现在企沙地区 QZ-07 剖面, 其平均质量分数分别达到了 0.11, 11.29, 88.23 和 26.47 $\mu\text{g/g}$ 。选用 Hakanson 的潜在生态风险指数法对沉积物的环境质量进行了评价。结果表明, 钦州湾潮间带表层沉积物重金属元素的潜在生态风险参数均小于 40, 而风险指数均小于 150, 显示其潜在生态风险为低风险级别。但部分调查剖面如沙角 QZ-08 剖面的生态危害风险指数接近临界值 140, 所以该污染的风险是存在的。在空间分布上, 从防城港—企沙—鸡墩头—三娘湾—沙角, 重金属元素的污染生态危害指数有逐渐增加的趋势, 尤其在企沙 QZ-07、三娘湾 QZ-09 和沙角地区的 QZ-08 剖面的危害指数最高。

关键词:潮间带; 沉积物; 重金属元素; 污染; 钦州湾—防城港

中图分类号: P59

文献标识码: A

文章编号: 1671-6647(2012)01-0141-14

作为海陆交替的过渡地带, 潮间带地区物质和能量的转换远比其它地域迅速, 各种污染物通过生物、化学及物理作用富集在沉积物中。这些污染物会对潮滩生物产生直接的毒害作用, 并通过食物链富集和传递, 最终影响人类健康。众多污染物中, 重金属因其毒性和持久性对潮间带沉积物的影响最为严重, 因而, 潮滩沉积物中重金属的研究意义重大。钦州湾—防城港, 地处华南沿海, 位于北部湾顶端, 属于热带亚热带的过渡区域, 是广西沿岸最大的溺谷型海湾。该湾岸线曲折, 海岸带资源丰富, 具有重要的经济地位。廉雪琼^[1]和张少峰^[2]等对钦州湾海域的沉积物的重金属污染状况进行了较详细研究, 但主要集中于深水区, 而有关潮间带剖面的研究较少。本研究旨在通过钦州湾-防城港潮间带表层沉积物重金属元素分布特征及其潜在生态危害的分析, 对该区环境质量状况进行评价, 以为钦州湾的可持续利用提供科学依据。

1 材料和方法

钦州湾位于北部湾顶部, 广西沿岸的中段, 由内湾茅尾海和外湾钦州湾构成。中间狭窄, 两端宽阔, 东、西、北三面为陆地所环绕, 南面与北部湾相通, 构成一个封闭型天然海湾。该湾口门宽 29 km, 纵深 39 km。全湾海岸线总长 336 km, 海湾面积为 380 km²。防城港毗邻钦州湾西部, 湾口宽 10 km, 海湾面积 115 km²。钦州湾-防

* 收稿日期: 2010-12-06

资助项目: 国家自然科学基金项目——上新世-更新世东亚低纬区的风化历史及其对全球碳循环的影响(41076033); 地质大调查项目——北部湾经济区地质环境综合调查评价与区划综合研究(1212010914002)

作者简介: 黎清华(1978-), 男, 湖北荆州人, 助理研究员, 主要从事环境地质方面研究. E-mail: lqinghua@cgs.cn

(陈 靖 编辑)

城港西北的主要山脉是十万大山及其支脉。十万大山呈东西-西南走向,山脊平均高度 1 000 m 左右。钦州湾-防城港地处低纬度,属南亚热带季风气候区,受海洋和十万大山山脉的影响,季节干湿分明,热量丰富,雨量集中。防城港西部有防城江注入,而注入钦州湾内湾茅尾海的主要河流有钦江和茅岭江,这些河流均发育于十万大山南麓,干流总长 293 km,流域面积 $2.3 \times 10^3 \text{ km}^2$,年输沙量为 $6.0 \times 10^5 \text{ t}$ [3]。注入外湾钦州湾东部的主要河流有金鼓江、鹿耳环江和大风江,这些河流属广西滨海水系,其流域主要分布在沿海一带。

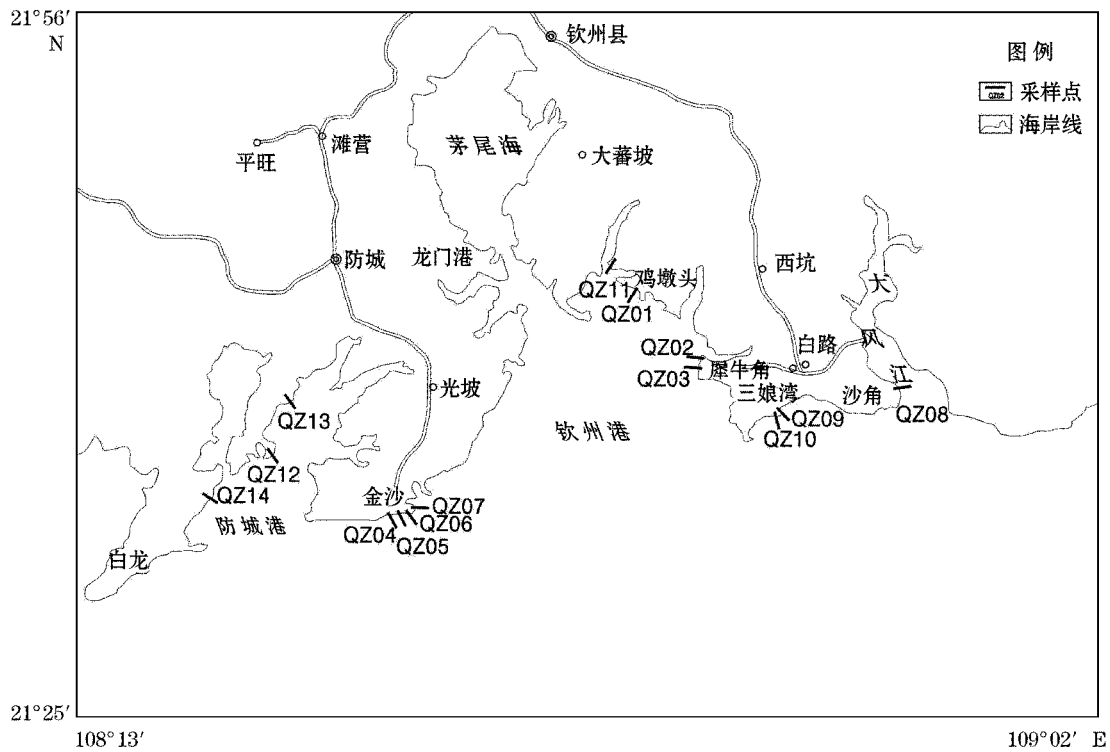


图 1 研究区采样剖面分布示意图

Fig. 1 Schematic diagram of sampling profile layout in the research area

在采集的 14 条剖面中(图 1),经样品的前处理,选取广西区钦州湾-防城港潮间带底质类型为泥质或泥质粉砂且潮间带比较宽阔(100 m 以上)的 12 条较典型剖面作为粘土矿物调查剖面(其中 QZ02、QZ03 剖面因样品中含泥量低而舍弃)。

采样于 2010-07-22—26 完成。具体时间为每天低潮时(5:50—8:30)进行现场踏勘并取样,现场用自封塑料袋装好,贴上标签,在野外统一用木箱装箱,通过快递寄送至实验室。调查剖面按垂直海岸方向设置,在每条剖面一般按高潮滩、中潮滩、低潮滩采取 3 个或 3 个以上表层沉积物样品,少数剖面只采得 1~2 个样品,在采集的 49 个样品中经实验室前处理因样品中含泥量低而舍弃 14 个样品,保留有效样品量 35 个。在 12 条有效剖面上,其样品具体情况如下:QZ01 有 6 个样品、QZ08 有 5 个样品、QZ09、QZ12 各有 2 个样品, QZ04、QZ05 各有 1 个样品,其他剖面均采集 3 个样品。

沉积物样品在 80 °C 烘干,研磨至 200 目备测。样品的前处理及分析测试均在中国科学院海洋研究所海洋环境与地质重点实验室完成。分析步骤为:1)准确称取 0.04 g 样品置于 Teflon 溶样罐中,加入 0.6 mL HNO_3 和 2 mL HF 封盖后震荡样品,静置 2 h,于 150 °C 电热板上溶样 24 h。2)开盖,加入 0.25 mL HClO_4 ,于 150 °C 电热板上敞开蒸酸至近干,加入 0.6 mL HNO_3 和 2 mL HF 封盖,于 150 °C 电热板上溶样 24 h。3)开盖,加入 0.25 mL HClO_4 ,于 150 °C 电热板上敞开蒸酸至近干;再加入 1 mL HNO_3 和 1 mL H_2O ,密闭于 150 °C 电热板回溶 12 h。4)用高纯水定容至 40 g,微量元素包括 Hg, Cd, As, Pb, Cu, Cr, Zn, Zr, U 和 La 等

用电感耦合等离子体质谱仪 Perkin-Elmer ELAN DRC II ICP-MS 分析,常量元素 Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , MnO , P_2O_5 和 TiO_2 用电感耦合原子发射光谱仪 Thermo iCAP6300 ICP-AES 分析。为监控测试精度与准确度,对国际标样、重复样与空白样品进行分析,结果表明常量元素精度为 2%,微量元素精度优于 5%。

2 结果与讨论

2.1 重金属元素的空间分布特征

表 1 列出了钦州湾潮间带表层沉积物重金属元素 Hg, Cd, As, Pb, Cu, Cr 和 Zn 的质量分数数据,表 2

表 1 广西钦州湾-防城港潮间带表层沉积物重金属元素质量分数 ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)

Table 1 Statistics of heavy metal contents in the surface sediments of the intertidal zone from the Qinzhou Bay to the Fangcheng Port of Guangxi Province

| 样品编号 | Hg | Cd | As | Pb | Cu | Cr | Zn |
|----------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|--------|
| QZ-14-01 | 0.010 | 0.010 | 3.370 | 11.000 | 6.950 | 11.800 | 26.100 |
| QZ-14-02 | 0.010 | 0.010 | 3.220 | 10.200 | 8.290 | 13.100 | 29.800 |
| QZ-14-03 | 0.010 | 0.053 | 2.840 | 12.600 | 8.910 | 14.900 | 36.700 |
| QZ-12-02 | 0.010 | 0.010 | 2.210 | 6.910 | 8.450 | 11.900 | 18.700 |
| QZ-12-03 | 0.010 | 0.050 | 4.050 | 14.300 | 12.900 | 24.000 | 36.800 |
| QZ-13-01 | 0.013 | 0.064 | 2.870 | 15.500 | 14.000 | 29.800 | 40.200 |
| QZ-13-02 | 0.010 | 0.035 | 2.550 | 7.080 | 7.420 | 14.200 | 22.500 |
| QZ-13-03 | 0.010 | 0.039 | 5.850 | 7.690 | 5.800 | 13.000 | 15.600 |
| QZ-04-01 | 0.010 | 0.010 | 8.990 | 9.740 | 5.750 | 17.100 | 25.100 |
| QZ-05-01 | 0.010 | 0.010 | 7.410 | 3.500 | 2.890 | 3.960 | 7.420 |
| QZ-06-01 | 0.010 | 0.010 | 6.430 | 3.570 | 2.370 | 4.440 | 6.400 |
| QZ-06-02 | 0.015 | 0.075 | 3.370 | 14.200 | 11.300 | 23.800 | 34.200 |
| QZ-06-03 | 0.003 | 0.010 | 6.170 | 3.200 | 2.040 | 5.050 | 6.840 |
| QZ-07-01 | 0.129 | 0.041 | 12.440 | 29.500 | 37.500 | 137.000 | 41.600 |
| QZ-07-02 | 0.010 | 0.010 | 6.480 | 27.900 | 29.600 | 78.400 | 45.000 |
| QZ-07-03 | 0.087 | 0.010 | 14.970 | 22.100 | 14.500 | 49.300 | 25.200 |
| QZ-11-01 | 0.010 | 0.053 | 3.850 | 10.700 | 10.100 | 21.500 | 23.400 |
| QZ-11-02 | 0.010 | 0.153 | 5.170 | 15.200 | 12.300 | 33.500 | 42.600 |
| QZ-11-03 | 0.010 | 0.019 | 2.830 | 9.150 | 8.360 | 16.200 | 22.500 |
| QZ-01-01 | 0.028 | 0.010 | 1.710 | 9.980 | 10.800 | 29.300 | 19.000 |
| QZ-01-02 | 0.037 | 0.041 | 2.070 | 8.890 | 9.660 | 25.300 | 21.800 |
| QZ-01-03 | 0.045 | 0.050 | 2.810 | 13.200 | 10.800 | 24.100 | 23.200 |
| QZ-01-04 | 0.011 | 0.042 | 3.460 | 12.000 | 11.100 | 23.000 | 24.500 |
| QZ-01-05 | 0.010 | 0.028 | 2.690 | 7.700 | 7.730 | 14.700 | 17.000 |
| QZ-01-06 | 0.010 | 0.010 | 4.220 | 18.000 | 9.480 | 29.400 | 24.000 |
| QZ-10-01 | 0.010 | 0.014 | 8.370 | 13.500 | 8.810 | 13.300 | 37.700 |
| QZ-10-02 | 0.049 | 0.010 | 9.460 | 20.700 | 5.440 | 25.300 | 46.200 |
| QZ-10-03 | 0.010 | 0.004 | 6.620 | 16.100 | 4.120 | 17.700 | 35.200 |
| QZ-09-01 | 0.110 | 0.099 | 5.510 | 21.300 | 13.700 | 28.800 | 53.300 |
| QZ-09-02 | 0.095 | 0.137 | 10.180 | 31.600 | 20.900 | 50.300 | 68.600 |
| QZ-08-01 | 0.010 | 0.318 | 4.110 | 17.600 | 45.200 | 23.300 | 71.100 |
| QZ-08-02 | 0.001 | 0.085 | 10.070 | 20.500 | 28.900 | 33.700 | 59.600 |
| QZ-08-03 | 0.048 | 0.109 | 6.990 | 27.000 | 29.300 | 45.200 | 70.400 |
| QZ-08-04 | 0.026 | 0.046 | 6.430 | 19.700 | 20.500 | 33.000 | 51.000 |
| QZ-08-05 | 0.075 | 0.118 | 10.020 | 29.800 | 21.800 | 52.900 | 70.600 |

列出了其重金属元素的变化范围、平均值和标准偏差。其中 Hg, Cu 和 Zn 的最高值出现在沙角地区 QZ-08 剖面, Cd, As, Cr 和 Pb 的最高值出现在企沙地区 QZ-07 剖面。相对标准偏差是标准偏差与平均值的比值, 可以反映各重金属元素质量分数的离散程度, 从表 1 可以看出 Hg 和 Cd 的相对标准偏差最小, 分布相对较均匀, As 和 Pb 其次, Cu, Cr 和 Zn 离散程度最大, 分布最不均匀。

表 2 钦州湾—防城港潮间带表层沉积物重金属元素质量分数统计 ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)

Table 2 Comparison of heavy metal contents in the sediments from the studied area with those from other areas

| 元素含量 | Hg | Cd | As | Pb | Cu | Cr | Zn |
|------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|--------|
| 最大值 | 0.130 | 0.320 | 14.970 | 31.600 | 45.160 | 137.030 | 71.140 |
| 最小值 | 0.001 | 0.004 | 1.710 | 3.200 | 2.040 | 3.960 | 6.400 |
| 平均值 | 0.030 | 0.050 | 5.710 | 14.910 | 13.370 | 28.350 | 34.290 |
| 标准偏差 | 0.030 | 0.060 | 3.230 | 7.760 | 10.070 | 24.430 | 18.310 |

将我们 2010-07 采的钦州湾潮间带表层沉积物与 2008 年^[2]、2000 年^[1]、1983—1984 年钦州湾沉积物^[3], 以及其他地区如广东主要海岛^[4]、台湾西南^[5]、南海北部大陆架^[6] 和国家沉积物一类标准^[7] 的重金属元素质量分数对比如表 3。这里的对比忽略了不同样品、不同实验室前处理方法、不同测试方法和仪器所造成的可能系统误差。可以看出, 总体上, 钦州湾在 2000 年重金属元素质量分数最低, 污染最轻, 在 2008 年和 1983—1984 年重金属元素质量分数最高, 污染最严重; 2010 年的重金属元素质量分数介于之间。但不同年份、不同实验室的测试结果与国家海洋沉积物一类质量标准(GB 18668-2002)相比, 都是明显偏低, 达到了国家海洋沉积物第一类标准, 适用于海洋渔业水域、海洋自然保护区、海水养殖区和海水浴场。与其他地区相比, 钦州湾重金属元素质量分数与南海北部陆架和台湾西南相当或略低, 但明显低于广东主要海岛。

表 3 钦州湾—防城港潮间带与其它地区沉积物重金属元素质量分数对比

Table 3 Contents and toxicity coefficients of heavy metals in the sediments from the Qinzhou Bay and from the National Standard for Marine Sediment Quality

| 地 区 | Hg | Cd | As | Pb | Cu | Cr | Zn |
|---------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 钦州湾—防城港 2010 平均值 | 0.030 | 0.050 | 5.710 | 14.910 | 13.370 | 28.350 | 34.290 |
| 钦州湾 2008 年 ^[2] | 0.046 | 0.083 | 11.310 | 31.300 | 19.800 | | 60.000 |
| 广西近岸海域 2000 年 ^[1] | 0.008 | 0.030 | 12.400 | 2.400 | 4.600 | 25.700 | |
| 1983—1984 钦州湾测量值 ^[3] | 0.090 | 0.090 | 12.150 | 27.500 | 17.200 | | 66.600 |
| 广东主要海岛 ^[4] | | 2.700 | | 25.200 | 28.200 | | 112.000 |
| 台湾西南 ^[5] | | 0.160 | | 30.400 | 27.700 | 28.200 | 114.000 |
| 南海北部陆架 ^[6] | | 0.740 | | 22.600 | 9.200 | 19.900 | 44.500 |
| 国家一级标准 ^[7] | 0.200 | 0.500 | 20.000 | 60.000 | 35.000 | 80.000 | 150.000 |

注:空白表示无数据

(1) 区域分布特征

从防城港—企沙—鸡墩头—三娘湾—沙角, 我们布设了一系列剖面(图 1)。沿着防城港—沙角方向的潮间带表层沉积物重金属元素 Hg, Cd, As, Pb, Cu, Cr 和 Zn 质量分数的区域空间变化如图 2~4。整体上, 从防城港—企沙—鸡墩头—三娘湾—沙角, 重金属元素质量分数有逐渐增加的趋势, 尤其在企沙 QZ-07、三娘湾 QZ-09 和沙角地区的 QZ-08—剖面的质量分数最高。

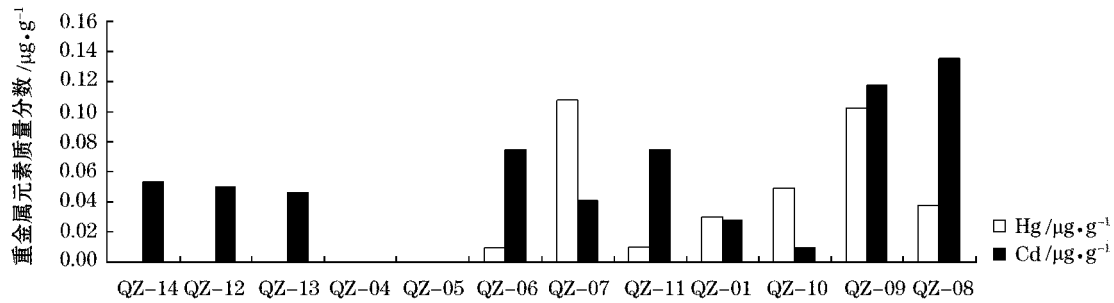


图 2 防城港—企沙—三娘湾—沙角潮间带沉积物 Hg 和 Cd 元素质量分数分布图

Fig. 2 Distributions of Hg and Cd in the surface sediments of the intertidal zone from the Fangcheng Port via Qisha and Sanniangwan to Shajiao

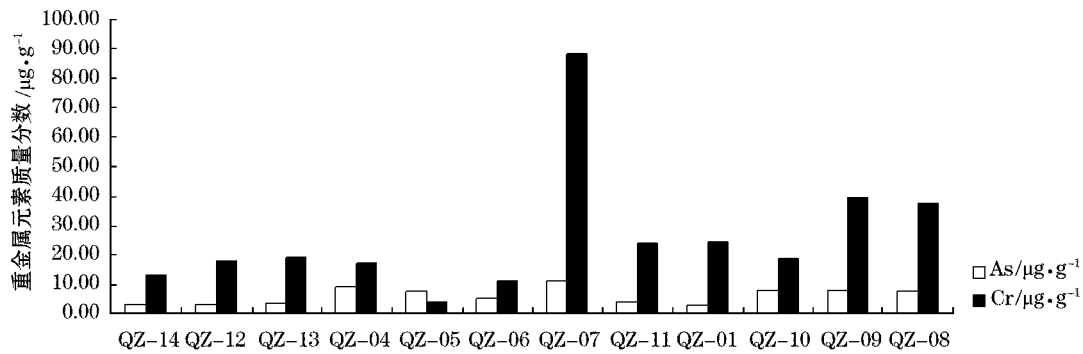


图 3 防城港—企沙—三娘湾—沙角潮间带沉积物 As 和 Cr 元素质量分数分布图

Fig. 3 Distributions of As and Cr in the surface sediments of the intertidal zone from the Fangcheng Port via Qisha and Sanniangwan to Shajiao

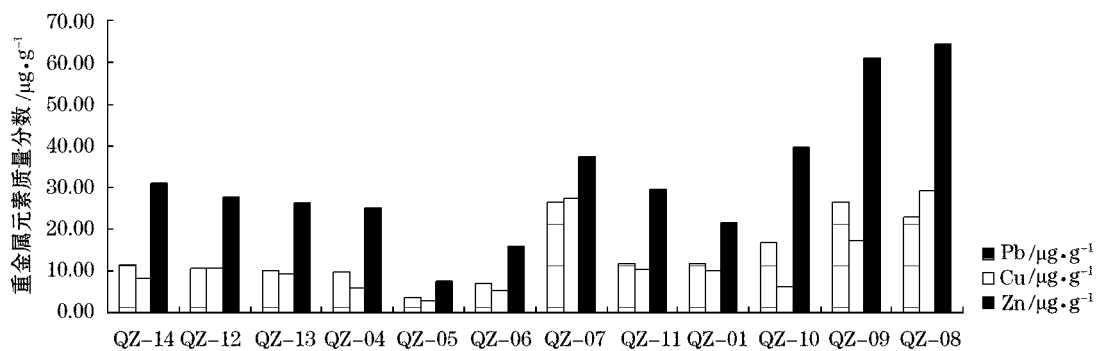


图 4 防城港—企沙—三娘湾—沙角潮间带沉积物 Cu, Pb 和 Zn 元素质量分数分布图

Fig. 4 Distributions of Cu, Pb and Zn in the surface sediments of the intertidal zone from the Fangcheng Port via Qisha and Sanniangwan to Shajiao

(2) 垂岸向分布特征

在防城港、企沙、鸡墩头、三娘湾、沙角,沿着垂直岸线方向,我们布设了一系列调查剖面(图 1)。沿高潮带—中潮带—低潮带的表层沉积物重金属元素 Hg, Cd, As, Pb, Cu, Cr 和 Zn 的质量分数分布的变化模式主要有 4 类:1) 重金属元素质量分数沿高潮带—中潮带—低潮带逐渐升高,这一类包括防城港 QZ-14, QZ-12 剖面和三娘湾 QZ-09 剖面;2) 重金属元素质量分数沿高潮带—中潮带—低潮带逐渐降低,这一类包括防城港 QZ-13 剖面 and 企沙 QZ-07 剖面;3) 重金属元素质量分数沿高潮带—中潮带—低潮带呈现中间高二边低的分布,这一类包括企沙 QZ-06 剖面、鸡墩头 QZ-11 剖面和三娘湾 QZ-10 剖面。4) 重金属元素质量分数沿高潮带—中潮带—低潮带没有明显变化,这一类包括鸡墩头 QZ-01 剖面、三娘湾 QZ-10 剖面 and 沙角 QZ-08 剖面。因为总体上,沿高潮带—中潮带—低潮带,表层沉积物的粒度是逐渐变细的,但重金属元素含量并没有都表现出富集于细粒级即向低潮带逐渐升高的趋势,这说明在潮间带重金属元素质量分数的变化并不主要受粒度控制,而可能受当地的物质供应和水动力条件所影响。

2.2 重金属的污染状况及生态危害评价

本次调查侧重于从生态危害的角度来研究重金属的污染水平,所以选用瑞典科学家 Hakanson^[8]的潜在生态风险指数法对沉积物的环境质量进行评价。“潜在生态风险指数法”作为国际上沉积物重金属研究比较成熟的方法之一,具有简便、快捷且较为准确的特点,它结合环境化学、生物毒理学和生态学等方面的知识,不仅反映了某一特定环境下各种污染物质的单一影响,而且也反映了多种污染物质的综合影响,并且以定量的方法划分出重金属潜在危害的程度,是目前此类研究中应用较为广泛的一种方法。

2.2.1 单因子污染指数

单个重金属的污染指数的计算方法如下

$$C_f^i = C_{\text{表层}}^i / C_{\text{参比}}^i \quad (1)$$

式中, $C_{\text{表层}}^i$ 为表层沉积物中重金属浓度实测值; $C_{\text{参比}}^i$ 为计算所用的参比值,本文分别采用国家海洋沉积物一类质量标准(GB 18668-2002)和 1983—1984 年钦州湾调查值(表 1)进行计算; i 为样品编号; C_f^i 为某一重金属的污染系数,它可以说明调查区域的污染特征,但不能揭示生态效应和生态危害, $C_f^i < 1$, 为低污染; $1 \leq C_f^i < 3$, 为中污染; $3 \leq C_f^i < 6$ 为较高污染; $C_f^i \geq 6$ 为很高污染。

多种污染物的综合效应通过综合指数 C_d 来表示: $C_d = \sum C_f^i$, 本次重金属调查元素为 7 项,没有 Hakanson^[8]中的 PCB 项。以 C_d 表征的综合污染程度为 $C_d < 5$, 为低污染; $5 \leq C_d < 10$, 为中污染; $10 \leq C_d < 20$, 为较高污染; $C_d \geq 20$ 为高污染。

本次调查的单因子污染指数结果如附表 1 和附表 2 所示。如果以国家海洋沉积物一类质量标准(GB 18668—2002)为参照物,钦州湾潮间带表层沉积物重金属元素 Hg, Cd, As, Pb, Cu, Cr 和 Zn 的污染指数均 < 1 , 而综合指数均 < 5 , 为低污染级别,表明该海区基本没有受到这些重金属元素的污染(图 5)。但如果按照 1983—1984 年钦州湾调查值为参照物,钦州湾潮间带表层沉积物重金属元素 Hg, Cd, As, Pb, Cu, Cr 和 Zn 的污染指数大部分小于 1, 但企沙 QZ-07 剖面、鸡墩头 QZ-11、三娘湾 QZ-09 剖面 and 沙角 QZ-08 剖面的部分污染指数大于 1, 综合指数大于 5, 为中度污染级别,表明这些地区受到了重金属元素的污染(图 6)。

在空间分布上,整体上,从防城港—企沙—鸡墩头—三娘湾—沙角,重金属元素的污染指数有逐渐增加的趋势,尤其在企沙 QZ-07, 三娘湾 QZ-09 和沙角地区的 QZ-08 剖面的污染最为严重。

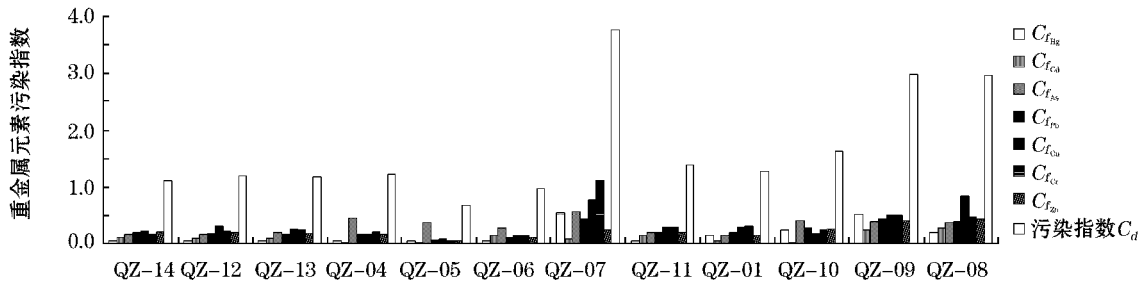


图5 防城港—企沙—三娘湾—沙角潮间带沉积物重金属元素污染指数分布图
(参照物为国家海洋沉积物一类质量标准(GB 18668—2002))

Fig. 5 Distributions of pollution indexes of heavy metals in the surface sediments of the intertidal zone from the Fangcheng Port via Qisha and Sanniangwan to Shajiao
(Reference: National Standard for Marine Sediment Quality, GB 18668—2002)

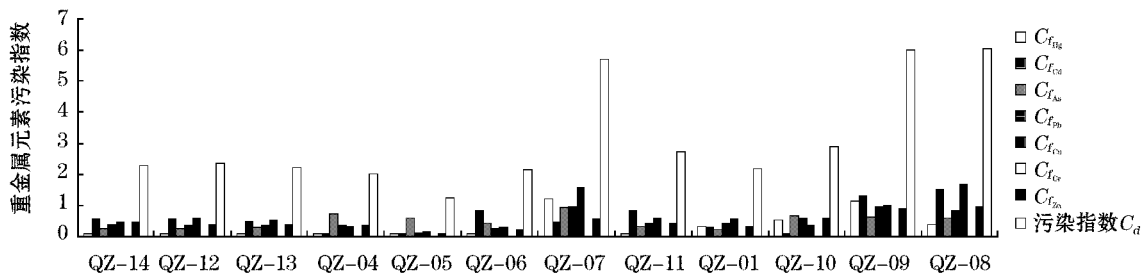


图6 防城港—企沙—三娘湾—沙角潮间带沉积物重金属元素污染指数分布图
(参照物为1983—1984年钦州湾调查值)

Fig. 6 Distributions of pollution indexes of heavy metals in the surface sediments of the intertidal zone from the Fangcheng Port via Qisha and Sanniangwan to Shajiao
(Reference: Values measured in the Qinzhou Bay during the survey from 1983—1984)

2.2.2 潜在生态危害评价

Hakanson^[8]提出的潜在生态危害评价指数方法不仅可以反映某特定环境中的每种污染物的影响,还能用定量的方法划分潜在生态危害的程度。某单个重金属的潜在生态危害指数 E_f^i 的计算公式如下:

$$E_f^i = C_f^i \times T_f^i \quad (2)$$

式中, T_f^i 为重金属的毒性响应系数,它揭示了重金属对人体和水生生态系统的危害,用来反映重金属的毒性水平与生态对重金属污染的敏感程度。

本研究采用 Hakanson^[8]制定的标准化重金属毒性系数为评价依据,系数见表4。不同值范围的单个重金属潜在生态危害指数所对应的单因子潜在生态风险为: $E_f^i < 40$ 为低潜在生态危害; $40 \leq E_f^i < 80$, 为中潜在生态危害; $80 \leq E_f^i < 160$ 为较高潜在生态危害; $160 \leq E_f^i < 320$ 为高潜在生态危害; $E_f^i \geq 320$ 为很潜在生态危害。

表 4 广西钦州湾沉积物和国家沉积物一类标准重金属元素质量分数 ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) 和毒性系数

Table 4 element content and toxicity coefficient of heavy metals in related marine sediment quality standard and the Qinzhou Bay investigation research

| 项 目 | 元 素 | | | | | | |
|------------------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| | Hg | Cd | As | Pb | Cu | Cr | Zn |
| 1983—1984 钦州湾测量值 | 0.09 | 0.09 | 12.15 | 27.5 | 17.2 | | 66.6 |
| 2010 年钦州湾测量值 | 0.05 | 0.06 | 6.11 | 14.02 | 11.8 | 26.21 | 32.22 |
| 国家沉积物一类标准 | 0.2 | 0.5 | 20 | 60 | 35 | 80 | 150 |
| 毒性参数 Tri | 40 | 30 | 10 | 5 | 5 | 2 | 1 |

注:空白表示无数据

沉积物中多个重金属的累计潜在生态危害系数 RI 定义为生态危害指数之和,即: $RI = \sum E_i^j$ 。 $RI < 150$, 海域具有低潜在生态危害; $150 \leq RI < 300$, 海域具有中潜在生态危害; $300 \leq RI < 600$, 海域具有较高潜在生态危害; $RI \geq 600$, 海域具有很高潜在生态危害。

本次调查的重金属生态危害评价结果如附表 3 和附表 4 所示。无论以国家海洋沉积物一类质量标准 (GB 18668—2002) 为参照物 (图 7) 还是以 1983—1984 年钦州湾调查值为参照物 (图 8), 钦州湾潮间带表层沉积物重金属元素 Hg, Cd, As, Pb, Cu, Cr 和 Zn 的潜在生态风险参数均 < 40 , 而风险指数均 < 150 , 为低风险级别, 表明该海区受到这些重金属元素污染所造成的生态危害程度还是较低的。但如果按照 1983—1984 年钦州湾调查值为参照物, 部分调查剖面如沙角 QZ-08 剖面的生态危害风险指数为 131.22, 接近临界值 140 (图 8), 所以该污染的风险是存在的, 需要高度重视。

在空间分布上, 整体上, 从防城港—企沙—鸡墩头—三娘湾—沙角, 重金属元素的污染生态危害指数有逐渐增加的趋势, 尤其在企沙 QZ-07、三娘湾 QZ-09 和沙角地区的 QZ-08 剖面的危害指数最高。从我们的野外踏勘可以发现, 企沙和沙角都是渔港码头, 有数量众多的渔船, 我们可以猜测这些频繁的人类活动所造成的影响。根据我们对沉积物的粘土矿物 X-射线衍射分析得知, 沿防城港—钦州湾—三娘湾方向, 沉积物中的高岭石含量是总体增加而伊利石含量降低的趋势。由于高岭石的粘滞性较强, 可能存在对重金属元素更强的吸附作用从而表现出从防城港—企沙—鸡墩头—三娘湾—沙角, 重金属元素的污染生态危害指数有逐渐增加的趋势。这还需要进一步的研究加以验证。

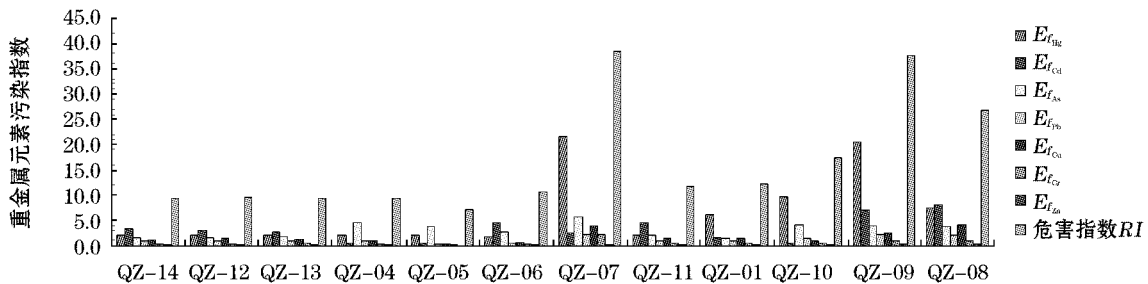


图 7 防城港—企沙—三娘湾—沙角潮间带沉积物重金属元素危害指数分布图

(参照物为国家海洋沉积物一类质量标准 (GB 18668—2002))

Fig. 7 Distributions of hazard indexes of heavy metals in the surface sediments of the intertidal zone from the Fangcheng Port via Qisha and Sanniangwan to Shajiao

(Reference: National Standard for Marine Sediment Quality, GB 18668—2002)

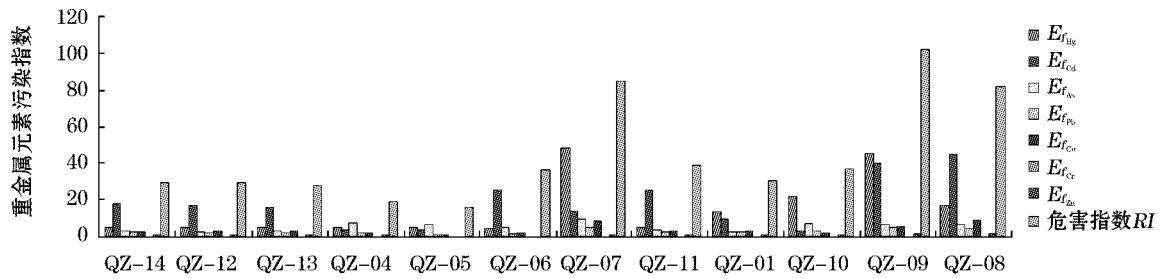


图8 防城港—企沙—三娘湾—沙角潮间带沉积物重金属元素危害指数分布图
(参照物为1983—1984年钦州湾调查值)

Fig. 8 Distributions of hazard indexes of heavy metals in the surface sediments of the intertidal zone from the Fangcheng Port via Qisha and Sanniangwan to Shajiao
(Reference: Values measured in the Qinzhou Bay during the survey from 1983—1984)

3 结 论

通过对广西钦州湾-防城港潮间带表层沉积物中的重金属元素 Hg, Cd, As, Pb, Cu, Cr 和 Zn 的分析,可以得到如下结论:

1) 钦州湾潮间带表层沉积物中的重金属元素的质量分数相对较低,均在国家一级标准之内。空间分布上,从防城港—企沙—鸡墩头—三娘湾—沙角,重金属元素质量分数有逐渐增加的趋势,尤其在企沙 QZ-07、三娘湾 QZ-09 和沙角地区的 QZ-08 剖面的质量分数最高。其中 Hg, Cu 和 Zn 的最高值出现在沙角地区 QZ-08 剖面, Cd, As, Cr 和 Pb 的最高值出现在企沙地区 QZ-07 剖面。

2) 选用 Hakanson^[8] 的潜在生态风险指数法对沉积物的环境质量进行了评价。结果表明,钦州湾潮间带表层沉积物重金属元素 Hg, Cd, As, Pb, Cu, Cr 和 Zn 的潜在生态风险参数均小于 40, 而风险指数均小于 150, 为低风险级别, 表明该海区受到这些重金属元素污染所造成的生态危害程度还是较低的。但部分调查剖面如沙角 QZ-08 剖面的生态危害风险指数接近临界值 140, 所以该污染的风险是存在的, 需要高度重视。在空间分布上, 从防城港—企沙—鸡墩头—三娘湾—沙角, 重金属元素的污染生态危害指数有逐渐增加的趋势, 尤其在企沙 QZ-07、三娘湾 QZ-09 和沙角地区的 QZ-08 剖面的危害指数最高。

致谢: 广西北海水文工程矿产地地质勘察研究院欧业成总工、黄喜新副总工等在野外地质取样中提供帮助。

附表 1 广西钦州湾—防城港潮间带表层沉积物重金属污染指数及综合指数
(参考值为国家海洋沉积物第一类标准)

Appendix Table 1 Pollution-index and comprehensive-index of heavy metals in the surface sediments of the
intertidal zone from the Qinzhou Bay to the Fangcheng Port
(Reference standard: National standard for Marine Sediment Quality, GB 18668—2002)

| 样品编号 | C_f | | | | | | | C_d | 污染程度 分级 |
|----------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------------|
| | Hg | Cd | As | Pb | Cu | Cr | Zn | | |
| QZ-14-01 | 0.05 | 0.02 | 0.17 | 0.18 | 0.20 | 0.15 | 0.17 | 0.94 | 低污染 |
| QZ-14-02 | 0.05 | 0.02 | 0.16 | 0.17 | 0.24 | 0.16 | 0.20 | 1.00 | 低污染 |
| QZ-14-03 | 0.05 | 0.11 | 0.14 | 0.21 | 0.25 | 0.19 | 0.24 | 1.19 | 低污染 |
| QZ-12-02 | 0.05 | 0.02 | 0.11 | 0.12 | 0.24 | 0.15 | 0.12 | 0.81 | 低污染 |
| QZ-12-03 | 0.05 | 0.10 | 0.20 | 0.24 | 0.37 | 0.30 | 0.25 | 1.50 | 低污染 |
| QZ-13-01 | 0.07 | 0.13 | 0.14 | 0.26 | 0.40 | 0.37 | 0.27 | 1.64 | 低污染 |
| QZ-13-02 | 0.05 | 0.07 | 0.13 | 0.12 | 0.21 | 0.18 | 0.15 | 0.90 | 低污染 |
| QZ-13-03 | 0.05 | 0.08 | 0.29 | 0.13 | 0.17 | 0.16 | 0.10 | 0.98 | 低污染 |
| QZ-04-01 | 0.05 | 0.02 | 0.45 | 0.16 | 0.16 | 0.21 | 0.17 | 1.23 | 低污染 |
| QZ-05-01 | 0.05 | 0.02 | 0.37 | 0.06 | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.68 | 低污染 |
| QZ-06-01 | 0.05 | 0.02 | 0.32 | 0.06 | 0.07 | 0.06 | 0.04 | 0.62 | 低污染 |
| QZ-06-02 | 0.08 | 0.15 | 0.17 | 0.24 | 0.32 | 0.30 | 0.23 | 1.48 | 低污染 |
| QZ-06-03 | 0.02 | 0.02 | 0.31 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.56 | 低污染 |
| QZ-07-01 | 0.65 | 0.08 | 0.62 | 0.49 | 1.07 | 1.71 | 0.28 | 4.90 | 低污染 |
| QZ-07-02 | 0.05 | 0.02 | 0.32 | 0.46 | 0.85 | 0.98 | 0.30 | 2.98 | 低污染 |
| QZ-07-03 | 0.44 | 0.02 | 0.75 | 0.37 | 0.41 | 0.62 | 0.17 | 2.77 | 低污染 |
| QZ-11-01 | 0.05 | 0.11 | 0.19 | 0.18 | 0.29 | 0.27 | 0.16 | 1.24 | 低污染 |
| QZ-11-02 | 0.05 | 0.31 | 0.26 | 0.25 | 0.35 | 0.42 | 0.28 | 1.92 | 低污染 |
| QZ-11-03 | 0.05 | 0.04 | 0.14 | 0.15 | 0.24 | 0.20 | 0.15 | 0.97 | 低污染 |
| QZ-01-01 | 0.14 | 0.02 | 0.09 | 0.17 | 0.31 | 0.37 | 0.13 | 1.21 | 低污染 |
| QZ-01-02 | 0.19 | 0.08 | 0.10 | 0.15 | 0.28 | 0.32 | 0.15 | 1.26 | 低污染 |
| QZ-01-03 | 0.23 | 0.10 | 0.14 | 0.22 | 0.31 | 0.30 | 0.15 | 1.45 | 低污染 |
| QZ-01-04 | 0.06 | 0.08 | 0.17 | 0.20 | 0.32 | 0.29 | 0.16 | 1.28 | 低污染 |
| QZ-01-05 | 0.05 | 0.06 | 0.13 | 0.13 | 0.22 | 0.18 | 0.11 | 0.89 | 低污染 |
| QZ-01-06 | 0.05 | 0.02 | 0.21 | 0.30 | 0.27 | 0.37 | 0.16 | 1.38 | 低污染 |
| QZ-10-01 | 0.05 | 0.03 | 0.42 | 0.23 | 0.25 | 0.17 | 0.25 | 1.39 | 低污染 |
| QZ-10-02 | 0.25 | 0.02 | 0.47 | 0.35 | 0.16 | 0.32 | 0.31 | 1.86 | 低污染 |
| QZ-10-03 | 0.05 | 0.01 | 0.33 | 0.27 | 0.12 | 0.22 | 0.23 | 1.23 | 低污染 |
| QZ-09-01 | 0.55 | 0.20 | 0.28 | 0.36 | 0.39 | 0.36 | 0.36 | 2.49 | 低污染 |
| QZ-09-02 | 0.48 | 0.27 | 0.51 | 0.53 | 0.60 | 0.63 | 0.46 | 3.47 | 低污染 |
| QZ-08-01 | 0.05 | 0.64 | 0.21 | 0.29 | 1.29 | 0.29 | 0.47 | 3.24 | 低污染 |
| QZ-08-02 | 0.01 | 0.17 | 0.50 | 0.34 | 0.83 | 0.42 | 0.40 | 2.67 | 低污染 |
| QZ-08-03 | 0.24 | 0.22 | 0.35 | 0.45 | 0.84 | 0.56 | 0.47 | 3.13 | 低污染 |
| QZ-08-04 | 0.13 | 0.09 | 0.32 | 0.33 | 0.59 | 0.41 | 0.34 | 2.21 | 低污染 |
| QZ-08-05 | 0.38 | 0.24 | 0.50 | 0.50 | 0.62 | 0.66 | 0.47 | 3.36 | 低污染 |

附表 2 广西钦州湾-防城港潮间带表层沉积物重金属污染指数及综合指数
(参考值为 1983—1984 钦州湾海域沉积物调查值)

Appendix Table 2 Pollution-index and comprehensive-index of heavy metals in the surface sediments of the intertidal zone from the Qinzhou Bay to the Fangcheng Port
(Reference standard: Results from the sedimentary survey in the Qinzhou Bay during 1983~1984)

| 样品编号 | C_f | | | | | | C_d | 污染程度 分级 |
|----------|-------|------|------|------|------|------|-------|------------|
| | Hg | Cd | As | Pb | Cu | Zn | | |
| QZ-14-01 | 0.11 | 0.11 | 0.28 | 0.40 | 0.40 | 0.39 | 1.70 | 低污染 |
| QZ-14-02 | 0.11 | 0.11 | 0.27 | 0.37 | 0.48 | 0.45 | 1.79 | 低污染 |
| QZ-14-03 | 0.11 | 0.59 | 0.23 | 0.46 | 0.52 | 0.55 | 2.46 | 低污染 |
| QZ-12-02 | 0.11 | 0.11 | 0.18 | 0.25 | 0.49 | 0.28 | 1.43 | 低污染 |
| QZ-12-03 | 0.11 | 0.56 | 0.33 | 0.52 | 0.75 | 0.55 | 2.82 | 低污染 |
| QZ-13-01 | 0.14 | 0.71 | 0.24 | 0.56 | 0.81 | 0.60 | 3.07 | 低污染 |
| QZ-13-02 | 0.11 | 0.39 | 0.21 | 0.26 | 0.43 | 0.34 | 1.74 | 低污染 |
| QZ-13-03 | 0.11 | 0.43 | 0.48 | 0.28 | 0.34 | 0.23 | 1.88 | 低污染 |
| QZ-04-01 | 0.11 | 0.11 | 0.74 | 0.35 | 0.33 | 0.38 | 2.03 | 低污染 |
| QZ-05-01 | 0.11 | 0.11 | 0.61 | 0.13 | 0.17 | 0.11 | 1.24 | 低污染 |
| QZ-06-01 | 0.11 | 0.11 | 0.53 | 0.13 | 0.14 | 0.10 | 1.11 | 低污染 |
| QZ-06-02 | 0.17 | 0.83 | 0.28 | 0.52 | 0.66 | 0.51 | 2.97 | 低污染 |
| QZ-06-03 | 0.03 | 0.11 | 0.51 | 0.12 | 0.12 | 0.10 | 0.99 | 低污染 |
| QZ-07-01 | 1.43 | 0.46 | 1.02 | 1.07 | 2.18 | 0.63 | 6.79 | 中污染 |
| QZ-07-02 | 0.11 | 0.11 | 0.53 | 1.01 | 1.72 | 0.68 | 4.17 | 低污染 |
| QZ-07-03 | 0.97 | 0.11 | 1.23 | 0.80 | 0.84 | 0.38 | 4.33 | 低污染 |
| QZ-11-01 | 0.11 | 0.59 | 0.32 | 0.39 | 0.59 | 0.35 | 2.34 | 低污染 |
| QZ-11-02 | 0.11 | 1.70 | 0.43 | 0.55 | 0.72 | 0.64 | 4.15 | 低污染 |
| QZ-11-03 | 0.11 | 0.21 | 0.23 | 0.33 | 0.49 | 0.34 | 1.71 | 低污染 |
| QZ-01-01 | 0.31 | 0.11 | 0.14 | 0.36 | 0.63 | 0.29 | 1.84 | 低污染 |
| QZ-01-02 | 0.41 | 0.46 | 0.17 | 0.32 | 0.56 | 0.33 | 2.25 | 低污染 |
| QZ-01-03 | 0.50 | 0.56 | 0.23 | 0.48 | 0.63 | 0.35 | 2.75 | 低污染 |
| QZ-01-04 | 0.12 | 0.47 | 0.28 | 0.43 | 0.65 | 0.37 | 2.32 | 低污染 |
| QZ-01-05 | 0.11 | 0.31 | 0.22 | 0.28 | 0.45 | 0.25 | 1.63 | 低污染 |
| QZ-01-06 | 0.11 | 0.11 | 0.35 | 0.66 | 0.55 | 0.36 | 2.14 | 低污染 |
| QZ-10-01 | 0.11 | 0.16 | 0.69 | 0.49 | 0.51 | 0.57 | 2.53 | 低污染 |
| QZ-10-02 | 0.54 | 0.11 | 0.78 | 0.75 | 0.32 | 0.69 | 3.20 | 低污染 |
| QZ-10-03 | 0.11 | 0.04 | 0.54 | 0.59 | 0.24 | 0.53 | 2.05 | 低污染 |
| QZ-09-01 | 1.22 | 1.10 | 0.45 | 0.78 | 0.80 | 0.80 | 5.15 | 中污染 |
| QZ-09-02 | 1.06 | 1.52 | 0.84 | 1.15 | 1.22 | 1.03 | 6.81 | 中污染 |
| QZ-08-01 | 0.11 | 3.53 | 0.34 | 0.64 | 2.63 | 1.07 | 8.32 | 中污染 |
| QZ-08-02 | 0.01 | 0.94 | 0.83 | 0.75 | 1.68 | 0.90 | 5.11 | 中污染 |
| QZ-08-03 | 0.53 | 1.21 | 0.58 | 0.98 | 1.70 | 1.06 | 6.06 | 中污染 |
| QZ-08-04 | 0.29 | 0.51 | 0.53 | 0.72 | 1.19 | 0.77 | 4.01 | 低污染 |
| QZ-08-05 | 0.83 | 1.31 | 0.82 | 1.08 | 1.27 | 1.06 | 6.38 | 中污染 |

附表 3 广西钦州湾-防城港潮间带表层沉积物重金属潜在生态风险评价结果
(参考值为国家海洋沉积物标准第一类)

Appendix Table 3 Evaluation of potential ecological risk of heavy metals in the surface sediments of the intertidal zone from the Qinzhou Bay to the Fangcheng Port
(Reference standard: National standard for Marine Sediment Quality, GB 18668—2002)

| 样品编号 | C_f | | | | | | | C_d | 污染程度 分级 |
|----------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|------------|
| | Hg | Cd | As | Pb | Cu | Cr | Zn | | |
| QZ-14-01 | 2.00 | 0.60 | 1.69 | 0.92 | 0.99 | 0.30 | 0.17 | 6.67 | 低风险 |
| QZ-14-02 | 2.00 | 0.60 | 1.61 | 0.85 | 1.18 | 0.33 | 0.20 | 6.77 | 低风险 |
| QZ-14-03 | 2.00 | 3.18 | 1.42 | 1.05 | 1.27 | 0.37 | 0.24 | 9.54 | 低风险 |
| QZ-12-02 | 2.00 | 0.60 | 1.11 | 0.58 | 1.21 | 0.30 | 0.12 | 5.91 | 低风险 |
| QZ-12-03 | 2.00 | 3.00 | 2.02 | 1.19 | 1.84 | 0.60 | 0.25 | 10.90 | 低风险 |
| QZ-13-01 | 2.60 | 3.84 | 1.44 | 1.29 | 2.00 | 0.75 | 0.27 | 12.18 | 低风险 |
| QZ-13-02 | 2.00 | 2.10 | 1.27 | 0.59 | 1.06 | 0.35 | 0.15 | 7.53 | 低风险 |
| QZ-13-03 | 2.00 | 2.34 | 2.92 | 0.64 | 0.83 | 0.32 | 0.10 | 9.16 | 低风险 |
| QZ-04-01 | 2.00 | 0.60 | 4.50 | 0.81 | 0.82 | 0.43 | 0.17 | 9.32 | 低风险 |
| QZ-05-01 | 2.00 | 0.60 | 3.71 | 0.29 | 0.41 | 0.10 | 0.05 | 7.16 | 低风险 |
| QZ-06-01 | 2.00 | 0.60 | 3.22 | 0.30 | 0.34 | 0.11 | 0.04 | 6.60 | 低风险 |
| QZ-06-02 | 3.00 | 4.50 | 1.68 | 1.19 | 1.62 | 0.59 | 0.23 | 12.81 | 低风险 |
| QZ-06-03 | 0.60 | 0.60 | 3.08 | 0.27 | 0.29 | 0.13 | 0.05 | 5.01 | 低风险 |
| QZ-07-01 | 25.80 | 2.46 | 6.22 | 2.46 | 5.36 | 3.43 | 0.28 | 46.00 | 低风险 |
| QZ-07-02 | 2.00 | 0.60 | 3.24 | 2.32 | 4.23 | 1.96 | 0.30 | 14.65 | 低风险 |
| QZ-07-03 | 17.40 | 0.60 | 7.48 | 1.84 | 2.07 | 1.23 | 0.17 | 30.80 | 低风险 |
| QZ-11-01 | 2.00 | 3.18 | 1.92 | 0.89 | 1.44 | 0.54 | 0.16 | 10.13 | 低风险 |
| QZ-11-02 | 2.00 | 9.18 | 2.59 | 1.27 | 1.76 | 0.84 | 0.28 | 17.91 | 低风险 |
| QZ-11-03 | 2.00 | 1.14 | 1.42 | 0.76 | 1.19 | 0.41 | 0.15 | 7.07 | 低风险 |
| QZ-01-01 | 5.60 | 0.60 | 0.86 | 0.83 | 1.54 | 0.73 | 0.13 | 10.28 | 低风险 |
| QZ-01-02 | 7.40 | 2.46 | 1.04 | 0.74 | 1.38 | 0.63 | 0.15 | 13.79 | 低风险 |
| QZ-01-03 | 9.00 | 3.00 | 1.40 | 1.10 | 1.55 | 0.60 | 0.15 | 16.81 | 低风险 |
| QZ-01-04 | 2.20 | 2.52 | 1.73 | 1.00 | 1.59 | 0.57 | 0.16 | 9.77 | 低风险 |
| QZ-01-05 | 2.00 | 1.68 | 1.35 | 0.64 | 1.10 | 0.37 | 0.11 | 7.25 | 低风险 |
| QZ-01-06 | 2.00 | 0.60 | 2.11 | 1.50 | 1.35 | 0.73 | 0.16 | 8.46 | 低风险 |
| QZ-10-01 | 2.00 | 0.84 | 4.19 | 1.13 | 1.26 | 0.33 | 0.25 | 10.00 | 低风险 |
| QZ-10-02 | 9.80 | 0.60 | 4.73 | 1.73 | 0.78 | 0.63 | 0.31 | 18.57 | 低风险 |
| QZ-10-03 | 2.00 | 0.24 | 3.31 | 1.34 | 0.59 | 0.44 | 0.23 | 8.16 | 低风险 |
| QZ-09-01 | 22.00 | 5.94 | 2.76 | 1.78 | 1.96 | 0.72 | 0.36 | 35.51 | 低风险 |
| QZ-09-02 | 19.00 | 8.22 | 5.09 | 2.63 | 2.99 | 1.26 | 0.46 | 39.65 | 低风险 |
| QZ-08-01 | 2.00 | 19.08 | 2.05 | 1.47 | 6.45 | 0.58 | 0.47 | 32.11 | 低风险 |
| QZ-08-02 | 0.20 | 5.10 | 5.03 | 1.71 | 4.13 | 0.84 | 0.40 | 17.42 | 低风险 |
| QZ-08-03 | 9.60 | 6.54 | 3.50 | 2.25 | 4.19 | 1.13 | 0.47 | 27.67 | 低风险 |
| QZ-08-04 | 5.20 | 2.76 | 3.22 | 1.64 | 2.93 | 0.83 | 0.34 | 16.92 | 低风险 |
| QZ-08-05 | 15.00 | 7.08 | 5.01 | 2.48 | 3.12 | 1.32 | 0.47 | 34.48 | 低风险 |

附表 4 广西钦州湾-防城港潮间带表层沉积物重金属潜在生态风险评价结果
(参考值为 1983—1984 钦州湾海域沉积物调查值)

Appendix Table 4 Evaluation of potential ecological risk of heavy metals in the surface sediments of the intertidal zone from the Qinzhou Bay to the Fangcheng Port
(Reference standard: Results from the sedimentary survey in the Qinzhou Bay during 1983~1984)

| 样品编号 | C_f | | | | | | C_d | 污染程度 分级 |
|----------|-------|--------|-------|------|-------|------|--------|------------|
| | Hg | Cd | As | Pb | Cu | Zn | | |
| QZ-14-01 | 4.44 | 3.33 | 2.78 | 2.01 | 2.02 | 0.39 | 14.97 | 低风险 |
| QZ-14-02 | 4.44 | 3.33 | 2.65 | 1.86 | 2.41 | 0.45 | 15.15 | 低风险 |
| QZ-14-03 | 4.44 | 17.67 | 2.34 | 2.29 | 2.59 | 0.55 | 29.89 | 低风险 |
| QZ-12-02 | 4.44 | 3.33 | 1.82 | 1.26 | 2.46 | 0.28 | 13.59 | 低风险 |
| QZ-12-03 | 4.44 | 16.67 | 3.33 | 2.60 | 3.74 | 0.55 | 31.34 | 低风险 |
| QZ-13-01 | 5.78 | 21.33 | 2.37 | 2.82 | 4.06 | 0.60 | 36.96 | 低风险 |
| QZ-13-02 | 4.44 | 11.67 | 2.10 | 1.29 | 2.16 | 0.34 | 21.99 | 低风险 |
| QZ-13-03 | 4.44 | 13.00 | 4.81 | 1.40 | 1.69 | 0.23 | 25.58 | 低风险 |
| QZ-04-01 | 4.44 | 3.33 | 7.40 | 1.77 | 1.67 | 0.38 | 19.00 | 低风险 |
| QZ-05-01 | 4.44 | 3.33 | 6.10 | 0.64 | 0.84 | 0.11 | 15.47 | 低风险 |
| QZ-06-01 | 4.44 | 3.33 | 5.29 | 0.65 | 0.69 | 0.10 | 14.50 | 低风险 |
| QZ-06-02 | 6.67 | 25.00 | 2.77 | 2.59 | 3.29 | 0.51 | 40.83 | 低风险 |
| QZ-06-03 | 1.33 | 3.33 | 5.08 | 0.58 | 0.59 | 0.10 | 11.02 | 低风险 |
| QZ-07-01 | 57.33 | 13.67 | 10.23 | 5.36 | 10.90 | 0.63 | 98.12 | 低风险 |
| QZ-07-02 | 4.44 | 3.33 | 5.33 | 5.06 | 8.61 | 0.68 | 27.46 | 低风险 |
| QZ-07-03 | 38.67 | 3.33 | 12.32 | 4.02 | 4.22 | 0.38 | 62.93 | 低风险 |
| QZ-11-01 | 4.44 | 17.67 | 3.17 | 1.94 | 2.93 | 0.35 | 30.50 | 低风险 |
| QZ-11-02 | 4.44 | 51.00 | 4.26 | 2.77 | 3.58 | 0.64 | 66.69 | 低风险 |
| QZ-11-03 | 4.44 | 6.33 | 2.33 | 1.66 | 2.43 | 0.34 | 17.54 | 低风险 |
| QZ-01-01 | 12.44 | 3.33 | 1.41 | 1.81 | 3.13 | 0.29 | 22.41 | 低风险 |
| QZ-01-02 | 16.44 | 13.67 | 1.70 | 1.62 | 2.81 | 0.33 | 36.57 | 低风险 |
| QZ-01-03 | 20.00 | 16.67 | 2.31 | 2.40 | 3.15 | 0.35 | 44.88 | 低风险 |
| QZ-01-04 | 4.89 | 14.00 | 2.84 | 2.17 | 3.23 | 0.37 | 27.50 | 低风险 |
| QZ-01-05 | 4.44 | 9.33 | 2.21 | 1.40 | 2.25 | 0.25 | 19.89 | 低风险 |
| QZ-01-06 | 4.44 | 3.33 | 3.47 | 3.28 | 2.76 | 0.36 | 17.64 | 低风险 |
| QZ-10-01 | 4.44 | 4.67 | 6.89 | 2.46 | 2.56 | 0.57 | 21.59 | 低风险 |
| QZ-10-02 | 21.78 | 3.33 | 7.79 | 3.76 | 1.58 | 0.69 | 38.94 | 低风险 |
| QZ-10-03 | 4.44 | 1.33 | 5.45 | 2.93 | 1.20 | 0.53 | 15.88 | 低风险 |
| QZ-09-01 | 48.89 | 33.00 | 4.54 | 3.88 | 3.99 | 0.80 | 95.09 | 低风险 |
| QZ-09-02 | 42.22 | 45.67 | 8.38 | 5.75 | 6.09 | 1.03 | 109.13 | 低风险 |
| QZ-08-01 | 4.44 | 106.00 | 3.38 | 3.20 | 13.13 | 1.07 | 131.22 | 低风险 |
| QZ-08-02 | 0.44 | 28.33 | 8.28 | 3.73 | 8.41 | 0.90 | 50.10 | 低风险 |
| QZ-08-03 | 21.33 | 36.33 | 5.75 | 4.90 | 8.52 | 1.06 | 77.90 | 低风险 |
| QZ-08-04 | 11.56 | 15.33 | 5.29 | 3.58 | 5.97 | 0.77 | 42.50 | 低风险 |
| QZ-08-05 | 33.33 | 39.33 | 8.25 | 5.41 | 6.35 | 1.06 | 93.74 | 低风险 |

参考文献 (References):

- [1] LIAN X Q. The assessment on the pollution of heavy metals in sediment of Guangxi Inshore[J]. *Marine Environmental Science*, 2002, 21(3): 39-42. 廉雪琼. 广西近岸海域沉积物中重金属污染评价[J]. *海洋环境科学*, 2002, 21(3): 39-42.
- [2] ZHANG S F, LIN M Y, WEI C L, et al. Pollution assessment and potential ecological risk evolution for heavy metals in the sediments of Qinzhou Bay[J]. *Marine Science Bulletin*, 2010, 29(4): 450-454. 张少峰, 林明裕, 魏春雷, 等. 广西钦州湾沉积物重金属污染现状及潜在生态风险评价[J]. *海洋通报*, 2010, 29(4): 450-454.
- [3] LI S H. Bays in China-fascicle for Guangxi Bay [M]. Beijing: Ocean Press, 1993:144-148. 李树华. 中国海湾志广西海湾分册 [M]. 北京: 海洋出版社, 1993, 144-148.
- [4] LIN Z H, LI G Q. Investigation report for islands environmental quality in Guangdong province[R]. Guangzhou: Guangdong Science Press, 1995, 115. 林祖亨, 李国祺. 广东海岛环境质量调查报告[R]. 广州: 广东科技出版社, 1995, 115.
- [5] CHONLIN L, MENGDER F, MING S H. Characterization and distribution of metals in surficial sediment s in Southeastern Taiwan [J]. *Mar Pollut Bull*, 1998, 36 (6): 464-471.
- [6] GAN J L, JIA X P, LI C H, et al. Characteristics of distribution and pollution of heavy metals in surficial sediments from continents shelf of northern south China sea[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2003, 22(1): 36-42. 甘居利, 贾晓平, 李纯厚, 等. 南海北部陆架区表层沉积物中重金属分布和污染状况[J]. *热带海洋学报*, 2003, 22(1): 36-42.
- [7] GB 18668-2002 Marine Sediment Quality[S]. Beijing: China Standard Press, 2002. GB 18668-2002 海洋沉积物质量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [8] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach [J]. *Water Research*. 1980, 14(8): 975-1001.

Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of the Intertidal Zone From the Qinzhou Bay to the Fangcheng Port of Guangxi Province

LI Qing-hua¹, WAN Shi-ming², LI An-chun², HE Jun¹

(1. *Wuhan center of Geological Survey, CGS, Wuhan 430205, China*; 2. *Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China*)

Abstract: Distribution analysis and potential ecological risk assessment were made of heavy metal elements such as Hg, Cd, As, Pb, Cu, Cr and Zn in the surface sediments of the intertidal zone from the Qinzhou Bay to the Fangcheng Port of Guangxi Province. The contents of heavy metals in the intertidal zone of the Qinzhou Bay are relatively low, with all being within the National Standard Level 1. From the point of spatial distribution, the contents of heavy metals tend to increase gradually in the zone from the Fangcheng Port via Qisha, Jiduntou and Sanniangwan to Shajiao, particularly at the sections of Qisha QZ-07, Sanniangwan QZ-09 and Shajiao QZ-08, where the contents of heavy metals are the highest. The peak values of Hg, Cu and Zn occur at the section of Shajiao QZ-08, and those of Cd, As, Cr and Pb at the section of Qisha QZ-07. The environmental quality assessment of the sediments was performed by means of Potential Ecological Risk Index proposed by Hakanson. The results show that the potential ecological risk of heavy metals in the surface sediments in the intertidal zone studied is generally in a low level, but at some sections of the zone such as at Shajiao QZ-08, the ecological risk index reaches nearly to the critical value of 140, indicating the possible presence of pollution risk. In general, the ecological risk index tends to increase gradually from the Fangcheng Port via Qisha, Jiduntou and Sanniangwan to Shajiao, especially at the sections of Qisha QZ-07, Sanniangwan QZ-09 and Shajiao QZ-08, where the ecological risk index reaches to the maximum.

Key words: intertidal zone; sediments; heavy metal elements; pollution; Qinzhou Bay to Fangcheng Port

Received: December 6, 2010