

网络优先数字出版时间: 2015-05-25

网络优先数字出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/45.1075.N.20150525.1658.004.html>

# 防城港湾夏季水质及表层沉积物重金属污染评价\*

## Pollution Evaluation of Heavy Metals in Seawater and Surface Sediments of Fangchenggang Bay in Summer

罗万次<sup>1</sup>, 雷 富<sup>2</sup>, 叶朝放<sup>1</sup>, 周 鹏<sup>3</sup>, 许廷波<sup>1</sup>, 李啸宇<sup>1</sup>, 农立成<sup>1</sup>

LUO Wan-ci<sup>1</sup>, LEI Fu<sup>2</sup>, YE Chao-fang<sup>1</sup>, ZHOU Peng<sup>3</sup>, XU Ting-bo<sup>1</sup>, LI Xiao-yu<sup>1</sup>, NONG Li-cheng<sup>1</sup>

(1. 防城港市海洋环境监测预报中心, 广西防城港 538001; 2. 广西科学院 广西近海海洋环境科学重点实验室, 广西南宁 530007; 3. 国家海洋局南海环境监测中心, 广东广州 510300)

(1. Marine Environment Monitoring and Forecasting Center of Fangchenggang, Fangchenggang, Guangxi, 538001, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 3. South China Sea Environment Monitoring Center, State Ocean Administration, Guangzhou, Guangdong, 510300, China)

**摘要:**【目的】调查及评价广西防城港湾的重金属污染现状。【方法】2013年8月从广西防城港湾采集33个站位海水样品和11个站位表层沉积物样品,测定海水和沉积物中重金属(铜、铅、锌、镉、汞、砷)含量,再采用单因子指数法和生态风险指数法对采集的海水和沉积物污染状况进行评价。【结果】该海域海水重金属污染程度由高到低分别是Pb>Zn>Hg>Cu>Cd>As,其中,Pb的平均单项污染指数均大于1,超过国家一类海水水质标准;沉积物中重金属平均含量排序为Zn>Pb>Cu>As>Cd>Hg,均符合国家一类沉积物标准;沉积物重金属污染程度排序为As>Pb>Cu>Zn>Hg>Cd,即污染程度均属于低污染;潜在危害的影响程度从大到小排序为Hg>As>Cd>Pb>Cu>Zn,即潜在风险较低。【结论】夏季防城港湾海洋重金属环境质量状况良好。

**关键词:** 重金属 污染评价 海水 表层沉积物 防城港湾

**中图分类号:** X82 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-7378(2015)02-0083-06

**Abstract:**【Objective】The survey and assessment on heavy metals of this paper was implemented in Fangchenggang Bay, Guangxi.【Methods】33 seawater samples and 11 surface sediments samples were collected in August 2013. The contents of heavy metals including Cu, Pb, Zn, Cd, Hg and As was determined. The status of heavy metals pollution in seawater is using the assessment techniques of single factor index and the surface sediments is potential ecological

index.【Results】The sequence of heavy metals in seawater was Pb>Zn>Hg>Cu>Cd>As using single factor index method. The mean of Pb contents was over Class I seawater quality standard. The average contents in sediments is Zn>Pb>Cu>As>Cd>Hg. All elements met the Class I seawater quality standard. The pollution degree was As>Pb>Cu>Zn>Hg>Cd. The potential

收稿日期: 2014-06-10

修回日期: 2014-08-10

作者简介: 罗万次(1974-),男,工程师,主要从事海洋环境监测与评价工作。

\* 国家自然科学基金项目(41266002),广西自然科学基金项目(2011GXNSFE018002,2011GXNSFE018003,2012GXNSFEA053001)和广西近海海洋环境科学重点实验室开放基金项目(GXKLHY14-02)资助。

ecological risk was  $Hg > As > Cd > Pb > Cu > Zn$  determined by potential ecological index method. The level of heavy metals and the potential ecological risk were low in this Bay.

**【Conclusion】**The marine environmental quality of Fangchenggang Bay is in good condition in summer.

**Key words:** heavy metal, pollution assessment, seawater, surface sediments, Fangchenggang bay

## 0 引言

**【研究意义】**防城港湾位于北部湾西部,港湾水深浪静,三面环山,航道短且不淤积,水域、陆域宽阔,可利用的海岸线长。目前防城港湾分为东湾和西湾,其中东湾以养殖为主,西湾以旅游和码头为主,北部有防城江注入。由于防城港建设以港口为主,已批准和建设了包括核电项目、铜镍加工项目等污染型项目,加之生活污水的排放,红树林面积正逐渐减少,防城港湾的生态环境承受的压力愈来愈大。重金属是海洋环境要素之一,具有来源广、残毒时间长、易蓄积、污染后不易被发现且难于恢复等特征,对水生生物健康有较大的负面影响,并且蓄积在沉积物中的重金属有二次污染的可能,若参与食物链循环并最终在生物体内积累,将会破坏生物体正常生理代谢活动<sup>[1,2]</sup>。**【前人研究进展】**针对防城港湾环境的研究报道不少,但主要是关于营养盐、浮游植物等<sup>[3]</sup>;在重金属方面,雷富等<sup>[4]</sup>曾对该海域的潜在生态危害进行过评价,发现该海域海洋生态系统潜在风险较低,但该文献调查站位不多,调查的结果还不能全面地反映该海区的环境特征。**【本研究切入点】**选择更多站位的数据评价防城港湾水质重金属污染状况。**【拟解决的关键问题】**利用单因子指数法和生态风险指数法对2013年8月在防城港湾采集的海水和沉积物进行综合评价,给出调查海域环境状况并分析其存在的原因,为防城港湾今后的开发、利用以及环境保护提供科学依据。

## 1 采样及评价

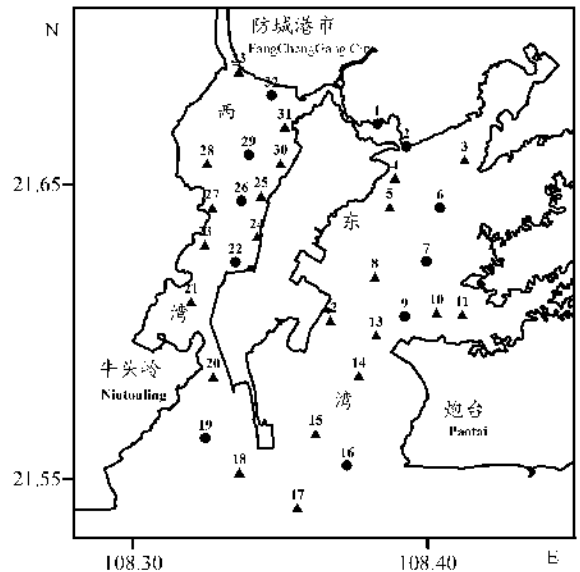
### 1.1 采样分析

2013年8月从广西防城港湾(东湾和西湾)33个表层海水采集点和11个沉积物采集点(图1)分别采集样品。利用2.5 L有机玻璃采水器采集表层海水,样品采集、保存按照《海洋监测规范》<sup>[5]</sup>进行。用抓斗式采泥器采集表层沉积物并取其未受干扰的表层泥样保存于聚乙烯袋中。Cu、Pb、Zn、Cd和As样品先在105℃烘箱内烘干,再用玛瑙研钵将其磨

碎并全部通过160目筛,充分混匀后取样以备用;Hg样品经过自然风干,研磨通过80目筛,充分混匀后取样以备用。

重金属的测定按照《海洋监测规范》<sup>[6,7]</sup>的要求进行,其中Cu、Pb、Zn和Cd采用原子吸收法测定(德国耶拿novAA400P原子吸收分光光度计),Hg、As采用原子荧光法测定(北京北分瑞利AF610B原子荧光光度计)。

所用玻璃器皿均用体积比1:3的硝酸浸泡至少24 h以上,并用milipore纯净水反复冲洗,Cu、Pb、Zn、Cd、Hg和As单元标准溶液均由国家标准物质研究中心提供。质量控制所用的海水标准物质和沉积物标准物质均由国家海洋局第二海洋研究所标准物质中心提供。



▲:水质站点;●:水质和沉积物站点。

▲: Stations for seawater; ●: Stations for seawater and sediments.

图1 采样站位

Fig. 1 Sampling stations

### 1.2 评价方法

用单项污染指数( $C_i^j$ )评价海水和沉积物,又由于防城港湾内有红树林保护区,故以参考《海水水质标准》<sup>[8]</sup>和《海洋沉积物质量》<sup>[9]</sup>中的一类标准限值作为评价标准: $C_i^j \leq 1$ 表示重金属含量符合标

准;  $C_f^i > 1$  表示重金属含量超过标准。

单项污染指数计算公式:

$$C_f^i = C_s^i / C_n^i, \quad (1)$$

式中,  $C_s^i$  为第  $i$  测站重金属含量的实测值,  $C_n^i$  采用一类重金属含量的标准限值。

潜在生态危害指数法(PERI)<sup>[10]</sup>不仅考虑了单因子法得出的金属污染系数,引入重金属的毒性响应系数,而且是在二者综合后评价重金属对生态环境的危害,简便、快速且较为准确,此外还顾及了背景值的地域分异性,故选用该方法评价沉积物中的重金属污染。其计算方法如下。

沉积物中多种重金属的综合污染效应,通过综合污染指数  $C_d$  来表征,计算公式:

$$C_d = \sum_i^6 C_f^i, \quad (2)$$

式中,  $C_d$  是综合污染指数,是沉积物多种重金属污染指数之和。以前述所选择的 6 种重金属元素来评价沉积物中重金属的综合污染情况。

单个重金属的潜在生态危害系数( $E_r^i$ ):

$$E_r^i = T_f^i \times C_f^i, \quad (3)$$

式中,  $T_f^i$  为重金属的毒性响应系数,反映了重金属的毒性水平和生物对其污染的敏感程度<sup>[11]</sup>。沉积物中 Cu, Pb, Zn, Cd, Hg, As 的毒性响应系数分别为 5, 5, 1, 30, 40, 10。

沉积物中多个重金属的潜在生态危害指数(ERI):

$$ERI = \sum_i^n E_r^i, \quad (4)$$

$C_f^i, C_d, E_r^i, ERI$  值所对应的污染程度及生态风险分级见文献[12]。

## 2 分析与评价结果

### 2.1 表层海水中重金属

#### 2.1.1 重金属含量与评价

防城港湾表层海水中 Cu, Pb, Zn, Cd, Hg 和 As 等含量分别为(0.7~3.7)  $\mu\text{g/L}$ , (0.3~5.6)  $\mu\text{g/L}$ , (3.8~36.0)  $\mu\text{g/L}$ , (0.01~0.16)  $\mu\text{g/L}$ , (0.001~0.081)  $\mu\text{g/L}$  和(0.26~1.29)  $\mu\text{g/L}$ , 平均值分别为 1.7  $\mu\text{g/L}$ , 1.5  $\mu\text{g/L}$ , 18.5  $\mu\text{g/L}$ , 0.04  $\mu\text{g/L}$ , 0.041  $\mu\text{g/L}$  和 0.64  $\mu\text{g/L}$ , 从高到低的顺序依次是 Zn > Cu > Pb > As > Hg > Cd。依据公式(1), 该海域表层海水中 Cu, Pb, Zn, Cd, Hg 和 As 单项污染指数变化范围分别为(0.14~0.74), (0.3~5.6), (0.19~1.8), (0.01~0.16), (0.02~1.62)

和(0.01~0.06), 单项平均污染指数分别为 0.34, 1.5, 0.92, 0.04, 0.82 和 0.03, 其污染程度由高到低的排序分别是 Pb > Zn > Hg > Cu > Cd > As。其中 Cu, Cd 和 As 含量均符合一类海水水质标准; Zn 和 Hg 接近一类海水水质标准, 监测站位超过一类海水水质标准的比例为 37.1% 和 27.7%, 环境状况不容乐观; Pb 的平均单项污染指数大于 1, 监测站位超过一类海水水质标准的比例为 45.4%。

#### 2.1.2 重金属含量的分布特征

从图 2 可以看出: 西湾海域 Cu 的平均含量(2.2  $\mu\text{g/L}$ )高于东湾(1.5  $\mu\text{g/L}$ ), 而东湾含量分布较西湾均匀。其中高值区出现在防城江入海口(32 号站、33 号站)海域, 低值区出现在东湾(5 号站~8 号站)红树林生长茂盛的一带海域; 西湾海域 Pb 平均含量(1.0  $\mu\text{g/L}$ )低于东湾(1.9  $\mu\text{g/L}$ ), 最大值出现在东湾防城港电厂附近的 10 号站, 最小值为防城江入海口 33 号站; 整个海域 Zn 含量差异很大, 西湾平均含量(25.3  $\mu\text{g/L}$ )大于东湾(15.4  $\mu\text{g/L}$ ), 其中, 西湾的海水超标率达到 72.7%, 最大值出现在防城江入海口 32 号站位, 高值区也位于西湾顶部海域, 低值区位于东湾防城港电厂附近海域(9 号站~14 号站); 整个海域 Cd 含量差别不大, 最大值位于东湾顶部的 1 号站位, 西湾平均含量(0.044  $\mu\text{g/L}$ )高于东湾(0.039  $\mu\text{g/L}$ ); 整个海域 Hg 和 As 含量差别不大, 西湾平均含量略低于东湾, 低值区出现在东湾红树林生长区海域, 高值区出现在外海区域, 含量大体呈湾内向外海逐渐增加趋势。

从图 2 还可以看出, 该海域海水重金属高值区出现的海域主要集中在湾口入海口区域(15~19 号站), 而低值区出现在东湾湾顶一带海域(1~3 号站)。这可能与人类活动有关: 在湾口入海区域建有 20 万 t 级货物码头, 往来的船舶较多, 一些压船水的不合理排放, 使得该海域的重金属呈现高值区; 而在东湾湾顶海域, 由于人为影响较小, 且由于有成片的红树林, 使得该海域的海水重金属含量较低。从整个调查海域看, 海水中 Pb, Zn 和 Hg 的平均含量接近甚至高于一类海水水质标准值, 这与防城港湾承担的功能有关: 首先, 西湾顶部有防城江河流入海, 该河流流经过防城区, 大量生产生活污水随着河流排放进入西湾; 其次, 防城港湾也是防城港市生产生活污水的主要排放处, 而且港口码头的建设已使得其海水交换能力变弱; 再次, 由于防城港湾旅游码头、货运码头、工厂建设和运行, 每天都会有大量船

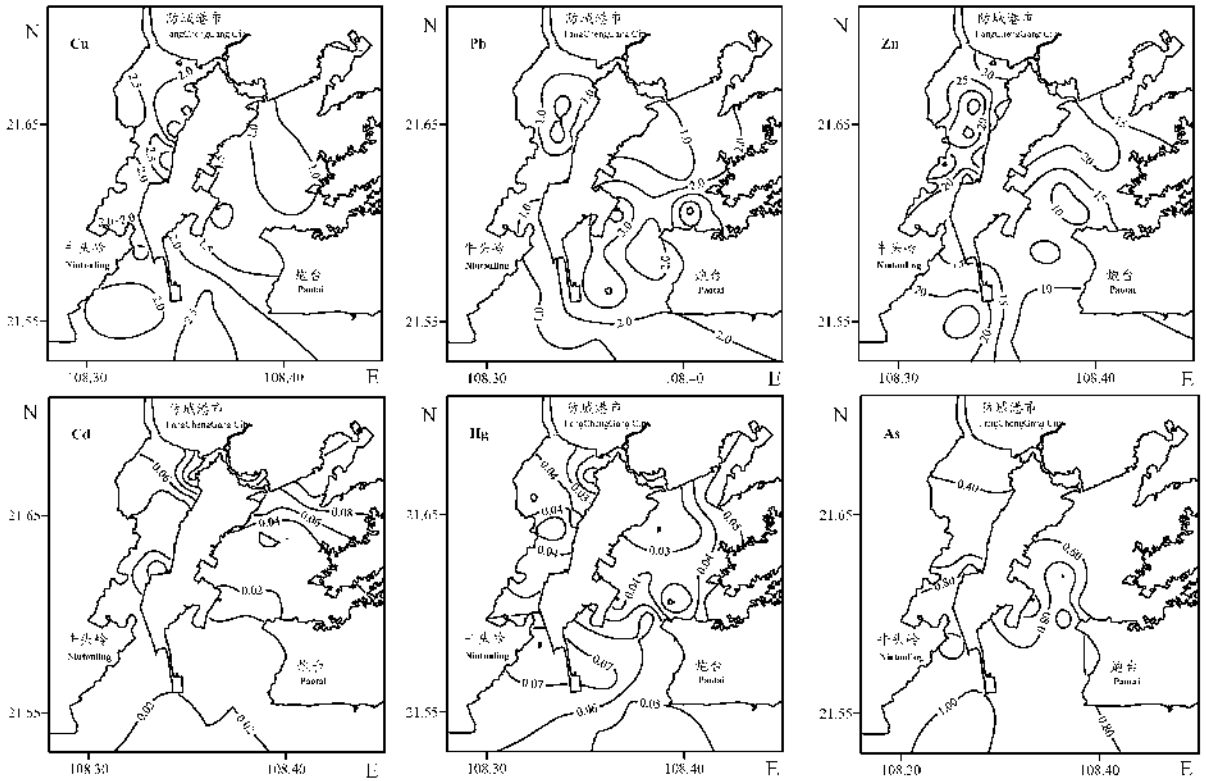


图2 防城港湾表层海水中重金属含量的平面分布

Fig. 2 Horizontal distributions of heavy metal contents in surface seawaters of Fangchenggang Bay

船进出,加上偶尔有少量压仓水排放,这些都会导致海水中重金属含量偏高。

## 2.2 表层沉积物中重金属

### 2.2.1 重金属含量与评价

表层沉积物中 Cu, Pb, Zn, Cd, Hg 和 As 的含量变化分别为 (3.2~34.3)  $\mu\text{g/g}$ , (11.1~57.2)  $\mu\text{g/g}$ , (10.0~146.3)  $\mu\text{g/g}$ , (0.02~0.12)  $\mu\text{g/g}$ , (0.01~0.13)  $\mu\text{g/g}$  和 (3.3~25.0)  $\mu\text{g/g}$ , 平均含量分别为 13.5  $\mu\text{g/g}$ , 29.8  $\mu\text{g/g}$ , 52.8  $\mu\text{g/g}$ , 0.06  $\mu\text{g/g}$ , 0.05  $\mu\text{g/g}$  和 10.9  $\mu\text{g/g}$ , 均符合国家一类沉积物重金属含量标准。沉积物平均含量大小顺序为  $\text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{As} > \text{Cd} > \text{Hg}$ , 平均含量大小顺序和广西其他海域调查结果相似<sup>[11]</sup>。

### 2.2.2 重金属综合污染指数

表1结果显示,单金属污染程度等级的大小顺序为  $\text{As} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Hg} > \text{Cd}$ 。从整体来看,6种重金属综合污染指数  $C_d$  均小于6,表明该海域沉积物的污染程度属低污染,沉积物环境质量状况良好。其中重金属综合污染指数高值区出现在1,2和26号站,低值区出现在6,7,19,29和32号站。26号站综合污染指数较高,与水质参数的高值特征基

本一致,可能与该调查站正进行围填海工程有关;1和2号站属于淤泥型沉积物,更有利于污染物沉积和蓄积,从而导致综合污染指数较高。而6和7号站位于红树林生长的海域边沿,29号站属开阔的海域,受海洋工程影响较小,因此综合污染等级相对较低;32号站位于入海口附近海域,常年流水的冲刷可能会使水体中的重金属元素不易沉降和固定,故其含量也表现出较低值。

表2结果显示,该海域的重金属潜在生态风险指数  $ERI$  值范围在 9.66~50.45,平均值为 25.30,远小于110,表明该海域表层沉积物重金属对海洋生态系统的潜在风险较低。重金属潜在生态风险性较高的为1,2,26号站,较低的为6,7,29和32号站,与重金属综合污染指数分析结果相一致。

从潜在生态风险来看, Hg 的潜在生态风险系数  $E_i^p$  平均值最高,但  $E_i^p$  值均小于25,为轻微潜在生态风险;其余重金属 Cu, Pb, Zn, Cd 和 As 的潜在生态风险系数  $E_i^p$  较低,为轻微潜在生态风险,对海洋生态系统的危害性较低。该海域各种重金属元素对海洋生态系统潜在危害的影响程度大小为  $\text{Hg} > \text{As} > \text{Cd} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Zn}$ 。

表 1 防城港湾沉积物重金属污染程度及分布状况

Table 1 Distribution of heavy metals pollution indexes and pollution status of Fangchenggang Bay

站点 Stations	$C_f$						$C_d$	污染程度分级 Pollution degree
	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As		
1	0.62	0.78	0.58	0.22	0.40	1.25	3.85	低污染 Low pollution
2	0.73	0.95	0.75	0.24	0.65	0.81	4.13	低污染 Low pollution
6	0.17	0.29	0.10	0.07	0.11	0.27	1.01	低污染 Low pollution
7	0.16	0.29	0.11	0.10	0.04	0.27	0.97	低污染 Low pollution
9	0.40	0.41	0.23	0.11	0.42	0.34	1.91	低污染 Low pollution
16	0.41	0.51	0.31	0.16	0.36	0.70	2.45	低污染 Low pollution
19	0.09	0.20	0.07	0.05	0.30	0.34	1.05	低污染 Low pollution
22	0.36	0.48	0.45	0.13	0.12	0.51	2.05	低污染 Low pollution
26	0.98	0.95	0.98	0.22	0.47	1.07	4.67	低污染 Low pollution
29	0.16	0.31	0.18	0.06	0.10	0.26	1.07	低污染 Low pollution
32	0.15	0.30	0.13	0.07	0.09	0.16	0.90	低污染 Low pollution
均值 Average	0.39	0.50	0.35	0.13	0.28	0.54	2.19	低污染 Low pollution

表 2 防城港湾沉积物重金属的潜在生态危害系数和危害指数

Table 2 Potential ecological risk factors and risk index of sediment heavy metals of Fangchenggang Bay

站点 Stations	$E_i^p$						$ERI$	生态风险分级 Ecological risk classification
	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As		
1	3.10	3.90	0.58	6.60	16.00	12.50	42.68	低 Low
2	3.65	4.75	0.75	7.20	26.00	8.10	50.45	低 Low
6	0.85	1.45	0.10	2.10	4.40	2.70	11.60	低 Low
7	0.80	1.45	0.11	3.00	1.60	2.70	9.66	低 Low
9	2.00	2.05	0.23	3.30	16.80	3.40	27.78	低 Low
16	2.05	2.55	0.31	4.80	14.40	7.00	31.11	低 Low
19	0.45	1.00	0.07	1.50	12.00	3.40	18.42	低 Low
22	1.80	2.40	0.45	3.90	4.80	5.10	18.45	低 Low
26	4.90	4.75	0.98	6.60	18.80	10.70	46.73	低 Low
29	0.80	1.55	0.18	1.80	4.00	2.60	10.93	低 Low
32	0.75	1.50	0.13	2.10	3.60	1.60	9.68	低 Low
均值 Average	1.95	2.50	0.35	3.90	11.20	5.40	25.30	低 Low

用某一重金属各站  $E_i^p$  的平均值除以各站  $ERI$  的平均值计算出不同重金属对  $ERI$  的总体贡献,结果见图 3。从图 3 可以看出, Hg, As 和 Cd 的贡献率分别为 44.3%, 21.3% 和 15.4%, 占有重金属的 80% 以上, Zn 的贡献率最小, 只占 1.4%, 因此, Hg, As, Cd 为防城港湾海域的主要风险因子, 对防城港湾的海洋生态具有较高的潜在生态危害性, 今后应该加强对 Hg, As 和 Cd 的监测。

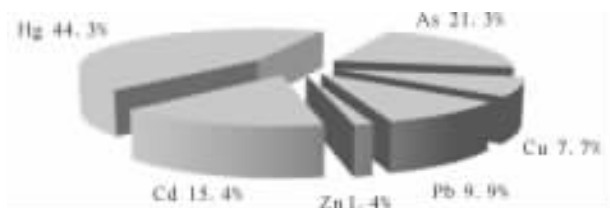


图 3 不同重金属对  $ERI$  的贡献率

Fig. 3 Contribution of different heavy metals to potential ecological risk index

### 3 结论

对防城港湾海域表层海水和沉积物中重金属的调查和评价, 得出以下结论:

(1) 海水重金属污染程度由高到低的排序分别是  $Pb > Zn > Hg > Cu > Cd > As$ 。海水中 Pb 的平均单项污染指数均大于 1, 表明该重金属平均含量均超国家一类海水水质标准, 其余元素均符合一类海水水质标准。

(2) 表层沉积物中 Cu, Pb, Zn, Cd, Hg 和 As 的平均含量由高到低的顺序为  $Zn > Pb > Cu > As > Cd > Hg$ , 均符合国家一类海洋沉积物标准。从重金属污染程度来看, 沉积物各重金属污染程度均属于低污染, 沉积物环境质量状况整体较好; 从海洋生态系统的潜在危害的影响程度来看, Hg, Cd 和 As 对该海域潜在危害程度占 80% 以上, 为海域的主要

风险因子。

(3)综合比较两种评价结果,沉积物中各元素的污染程度与生态危害的评价结果并不一致,说明在沉积物污染评价过程中,只有将两种或者多种评价方法有机结合才能科学、全面地反映调查海域重金属的污染特征及其对海洋生态系统的潜在危害。

#### 参考文献:

- [1] 温琰茂,韦照韬.广州城市污泥化学成分和农业利用的环境容量[J].中山大学学报:自然科学版,1996,35(2):124-128.  
Wen Y M, Wei Z T. Primary study on the composition and environmental capacity of agricultural application of municipal sewage sludge in Guangzhou[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 1996, 35(2):124-128.
- [2] 刘芳文,颜文,王文质,等.珠江口沉积物重金属污染及其潜在生态危害评价[J].海洋环境科学,2002,21(3):34-38.  
Liu F W, Yan W, Wang W Z, et al. Pollution of heavy metals in the pearl river estuary assessment of potential ecological risk[J]. Marine Environmental Science, 2002, 21(3):34-38.
- [3] 庄军莲,许铭本,张荣灿,等.广西防城港湾浮游植物数量周年变化特征[J].广西科学,2010,17(4):387-390,395.  
Zhuang J L, Xu M B, Zhang R C, et al. Anniversary variation of phytoplankton abundance in Fangcheng-gang bay of Guangxi[J]. Guangxi Sciences, 2010, 17(4):387-390,395.
- [4] 雷富,张荣灿,陈宪云,等.夏季广西北部湾近岸海域海水和表层沉积物中重金属污染现状及评价[J].海洋技术,2013,32(2):94-100.  
Lei F, Zhang R C, Chen X Y, et al. Pollution assessment and evaluation of heavy metals in the sea water and surface sediments of Guangxi Beibu Gulf coast in summer[J]. Ocean Technology, 2013, 32(2):94-100.
- [5] 徐恒振,马永安,于涛,等. GB17378.3—2007 海洋监测规范第3部分:样品采集、贮存与运输[S].北京:中国标准出版社,2007.  
Xu H Z, Ma Y A, Yu T, et al. GB17378.3—2007 The Specification for Marine Monitoring Part 3: Sample Collection, Storage and Transportation [S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2007.
- [6] 马永安,徐恒振,于涛,等. GB17378.4—2007 海洋监测规范第4部分:海水分析[S].北京:中国标准出版社,2007.  
Ma Y A, Xu H Z, Yu T, et al. GB17378.4—2007 The Specification for Marine Monitoring Part 4: Seawater Analysis[S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2007.
- [7] 马永安,徐恒振,于涛,等. GB17378.5—2007 海洋监测规范第5部分:沉积物分析[S].北京:中国标准出版社,2007.  
Ma Y A, Xu H Z, Yu T, et al. GB17378.5—2007 The Specification for Marine Monitoring Part 5: Sediment Analysis[S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2007.
- [8] 黄自强,张克,许昆灿,等. GB3097—1997 海水水质标准[S].北京:中国环境科学出版社,1997.  
Huang Z Q, Zhang K, Xu K C, et al. GB3097—1997 Sea Water Quality Standard[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 1997.
- [9] 马德毅,汤烈风,王菊,等. GB18668—2002 海洋沉积物质量[S].北京:中国标准出版社,1997.  
Ma D Y, Tang L F, Wang J, et al. GB18668—2002 Marine Sediment Quality [S]. Beijing: Chinese Standard Press, 1997.
- [10] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sediment ological approach[J]. Water Research, 1980(14):975-1001.
- [11] 雷富,陈宪云,陈默,等.广西茅尾海夏季海水和表层沉积物中重金属污染现状及评价[J].广西科学,2013,20(3):205-209.  
Lei F, Chen X Y, Chen M, et al. Pollution evaluation of heavy metals in the sea water and surface sediments of Maowei sea in summer[J]. Guangxi Sciences, 2013, 20(3):205-209.
- [12] 黄宏,郁亚娟,王晓栋,等.淮河沉积物中重金属污染及潜在生态危害评价[J].环境污染与防治,2004,26(3):207-208,231.  
Huang H, Yu Y J, Wang X D, et al. Pollution of heavy metals in surface sediments from Huaihe river (Jiangsu section) and its assessment of potential ecological risk[J]. Environmental Pollution & Control, 2004, 26(3):207-208,231.

(责任编辑:尹 闯)