

蓝先洪,孟祥君,梅西,等.辽东湾表层沉积物的重金属污染特征与质量评价[J].海洋学报,2018,40(6):60—73, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2018.06.006

Lan Xianhong, Meng Xiangjun, Mei Xi, et al. Pollution characteristics and quality assessment of heavy metals in surface sediments from the Liaodong Bay[J]. Haiyang Xuebao, 2018, 40(6): 60—73, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2018.06.006

# 辽东湾表层沉积物的重金属污染特征与质量评价

蓝先洪<sup>1,2</sup>, 孟祥君<sup>1,2</sup>, 梅西<sup>1,2</sup>, 徐扬<sup>1,2</sup>, 黄龙<sup>1,2</sup>, 陈珊珊<sup>1,2</sup>

(1.青岛海洋地质研究所 国土资源部海洋环境与油气地质重点实验室, 山东 青岛 266071; 2.青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 本文研究了辽东湾表层沉积物中重金属的分布及污染特征, 评价其生态风险及环境质量。对辽东湾表层沉积物 8 种重金属(As、Cu、Cd、Cr、Hg、Ni、Pb、Zn)的空间分布进行了研究, 采用 Hankanson 法和  $I_{geo}$  (地累积指数) 分析了该海域重金属潜在生态风险, 并评价了该海域的环境质量。在辽东湾葫芦岛附近海域、西南部六股河口东南部海域以及西部近岸海域表层沉积物中 As、Cu、Cd、Cr、Hg、Ni、Pb 和 Zn 含量偏高。地累积指数法及生态风险指数法对重金属污染程度评价结果一致, 辽东湾生态环境具有潜在危害的重金属主要是 Cd、Hg 和 As, 8 种重金属潜在生态风险系数由高到低依次为 Cd、Hg、Cu、Pb、As、Zn、Ni 和 Cr, 各站位重金属综合潜在生态风险指数均大于 150, 生态风险总体上处于中等生态风险等级。Cd 和 Hg 是该海域沉积物重金属中主要污染物, 局部区域达到中、中—强污染程度。环境质量评价表明, 辽东湾表层沉积物重金属引发有害生物效应的可能性不大, 但 Cd 和 Hg 显著富集, 应予以重视。

**关键词:** 辽东湾; 表层沉积物; 重金属; 质量评价

**中图分类号:** P736.4; P595

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0253-4193(2018)06-0060-14

## 1 引言

辽东湾位于渤海的东北部, 是中国渤海三大海湾(辽东湾、渤海湾、莱州湾)之一和我国东北地区唯一的沿海重要经济发展区域。辽东湾水深变化的基本趋势是由湾顶向湾口逐渐加深, 平均坡度小于 0.2%, 湾内大部分水深小于 30 m, 最大水深达 60 多米, 位于辽东湾的东南部, 老铁山水道内。辽东湾沿海水深 20 m 以浅的海域, 为近岸的半封闭浅海海域, 系大陆边缘被海水淹没的水下自然延伸部分<sup>[1]</sup>。

辽东湾沉积物的地球化学研究始于 20 世纪 50

年代末的全国海洋普查, 分析了辽东湾沉积物中的 Fe、Mn、P 和  $\text{CaCO}_3$  含量与空间分布<sup>[2]</sup>。自 20 世纪 80 年代以来, 随着经济的快速发展, 辽东湾已成为我国污染最为严重的海湾之一。近年来对辽东湾沉积物中重金属污染已有报道<sup>[3-12]</sup>, 辽东湾东部浅水区沉积物中重金属的潜在生态评价认为东湾浅水区沉积物污染长期以来较小, 产生危害的主要重金属是 Hg 和 Cd<sup>[3]</sup>; 辽东湾河口底质重金属环境地球化学研究显示辽东湾西北及北部河口底质污染严重<sup>[4]</sup>; 辽东湾 100 年来的重金属积累的趋势和程度表明, 表层沉积物主要来自于人类活动<sup>[5]</sup>; 对辽东湾南部表层沉积物

收稿日期: 2017-08-11; 修订日期: 2017-10-30。

基金项目: 国家自然科学基金(41406077); 国家自然科学基金重点基金(41330964); 国土资源部海洋区域地质调查项目(GZH201400205, GZH201400201, GZH201400206, DD20160137)。

作者简介: 蓝先洪(1958—), 男, 浙江省遂昌县人, 研究员, 主要从事海洋地质与沉积地球化学研究。E-mail: lanxh@qingdaonews.com

中金属元素的分布特征、来源及污染程度也作了较为系统地探讨<sup>[6]</sup>。尽管近年来已对辽东湾沉积物的重金属做过一些研究<sup>[7]</sup>,但多集中于渤海辽东湾的南部、北部和河口<sup>[4,6,8-14]</sup>等海域,而对辽东湾表层沉积物重金属研究仍存在中部研究较薄弱及定量生态风险评价方法不完善等不足<sup>[6]</sup>。因此,本文研究以辽东湾中部表层沉积物为研究对象,对8种重金属(As、Cu、Cd、Cr、Hg、Ni、Pb、Zn)含量进行分析,研究沉积物中重金属含量分布及污染特征,以潜在生态风险指数法对其生态风险进行定量评价及以地累积指数法分析其污染程度,采用重金属富集因子和一致性沉积物质量基准开展环境质量评价,以期对辽东湾海洋生态

环境保护和开发利用与管理提供科学依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 采集样品

2014年8月和2015年8月科研调查船“业治铮号”在辽东湾开展了表层沉积物样品采集。采集样品使用箱式取样器,样品质量不小于5 kg,用塑料勺取其中央未受干扰的表层沉积物(0~5 cm),密封保存于预先清洗干净的聚乙烯样品袋中,0~4℃下保存。本次对195个表层沉积物样品作了8种重金属(As、Cu、Cd、Cr、Hg、Ni、Pb、Zn)分析测试(图1)。

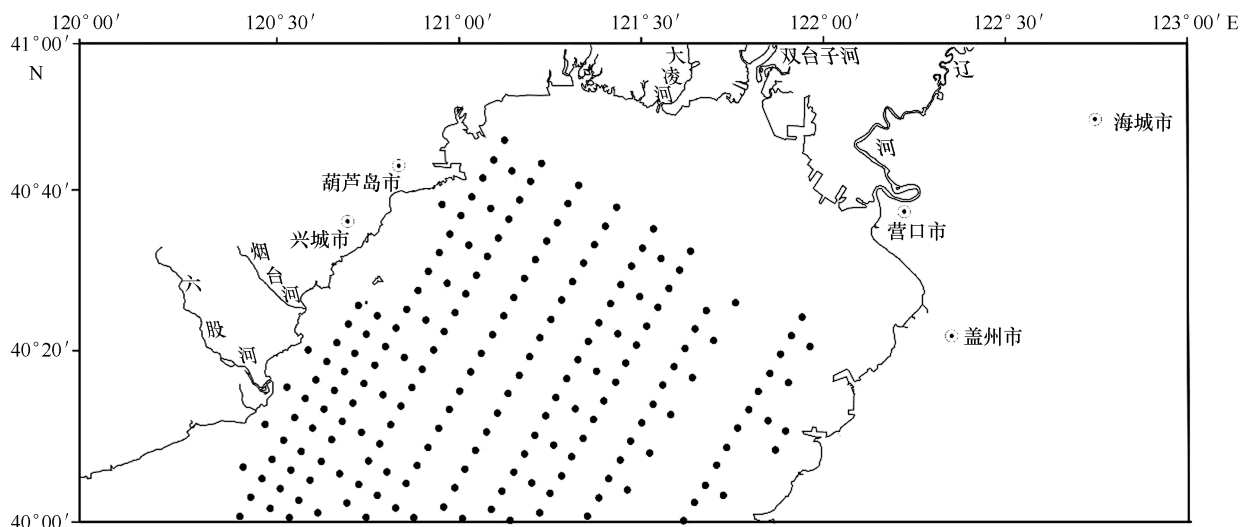


图1 辽东湾表层沉积物重金属采集站位示意图

Fig.1 Map of sampling stations of heavy metals in surface sediments from the Liaodong Bay

### 2.2 元素分析

重金属Cu、Pb、Zn等测定是将试样(干样)用混合熔剂熔融,以硝酸铵为氧化剂,加少量溴化锂作为脱模剂,试样与熔剂的质量比为1:12。在熔样机上于1050℃熔融,制成玻璃样片,用熔片法-X射线荧光光谱仪(XRF)进行测定;采用原子荧光光谱法(AF)测定As和Hg;Cr、Ni、Cd采用等离子质谱法(ICP-MS)测定;测试在青岛海洋地质研究所海洋地

质测试中心完成,对样品测试分析采用以下方法进行质量监控:(1)使用国家一级标准物质进行测试结果比对;(2)密码样品的双份分析;(3)沉积物样品全分析的百分数加和;监控测试结果符合质量要求。所有分析项目均进行了若干样品的重复分析与标样分析,选用海洋沉积物标样GBW07315对测试结果进行标定,元素分析结果误差均在5%以内,数据可靠。各重金属分析检出限列于表1。

表1 重金属分析检出限(单位:μg/g)

Tab.1 Detection limits of heavy metals analysis(unit:μg/g)

元素	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Cd	As	Hg
检出限	0.50	1.00	0.50	1.00	0.50	0.04	2.00	0.002

### 2.3 粒度分析

对 195 个样品进行了粒度分析,分析结果间隔为  $1/4\Phi$ 。每个样品取 10 g 干样于离心管中,分别加 10% 的  $H_2O_2$  和 0.1 mol/L 的盐酸浸泡,以除去有机质和自生碳酸盐的影响,然后使用六偏磷酸钠将样品分散,上机测试。粒度分析在青岛海洋地质研究所海洋地质实验检测中心采用 Malvern Mastersizer 2000 型激光粒度仪测定完成。

### 2.4 有机碳分析

用重铬酸钾氧化-还原容量法测定有机碳 ( $C_{org}$ )。称取 0.5 g 风干的样品于试管中,加 0.1 g 硫酸银,10.00 mL 重铬酸钾-硫酸标准溶液,在加入 3 mL 上述溶液时,应将样品摇散,勿使结块。将试管内的溶液及残渣倒入 250 mL 烧杯中,将冲洗小漏斗及试管的水洗液并入烧杯中。加入 5 mL 磷酸溶液用硫酸亚铁标准溶液滴定至黄色大部分褪去,加入 2~3 滴苯基代邻氨基苯甲酸指示剂溶液,继续滴至溶液由紫色突变到绿色即为终点。按重铬酸钾的消耗量,计算样品中有机碳的含量。

### 2.5 评价方法

#### 2.5.1 潜在生态风险指数法

潜在生态危害指数法是划分沉积物污染程度及

其水域潜在生态风险的一种相对快速、简便和标准的方法。潜在生态危害指数值可反映表层沉积物金属的含量、金属污染物的种类数、金属的毒性水平及水体对金属污染的敏感性,其计算公式如下<sup>[15]</sup>:

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

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i, \quad (2)$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n T_r^i \times C_f^i = \sum_{i=1}^n T_r^i \times C^i / C_n^i, \quad (3)$$

式中,  $E_r^i$  为单因子重金属的潜在生态风险系数;  $T_r^i$  为沉积物中第  $i$  种重金属的毒性响应系数,主要反映重金属的毒性水平和生物对重金属污染的敏感程度, Cr、Cu、Zn、Ni、As、Cd、Pb、Hg 毒性响应系数分别为 2、5、1、5、10、30、5、40<sup>[16]</sup>;  $C_f^i$  为沉积物中第  $i$  种重金属的污染系数;  $RI$  为综合潜在生态风险指数;  $C^i$  为沉积物中第  $i$  种重金属的实测质量浓度;  $C_n^i$  为沉积物中第  $i$  种重金属的背景质量浓度,本研究评价参考值采用工业化以前重金属最高背景值, Cr、Cu、Zn、Ni、As、Cd、Pb、Hg 的评价参考值分别为 61、15、65、24、7.7、0.065、20、0.025  $\mu\text{g/g}$ <sup>[17]</sup>;  $n$  为重金属的种类。潜在生态危害评价指标与分级关系见表 2。

表 2 潜在生态风险评价指标<sup>[15]</sup>

Tab.2 The potential ecological risk index of heavy metals<sup>[15]</sup>

$C_f^i$ 值范围	单项污染物污染程度分级	$E_r^i$ 范围	单项污染物潜在生态风险分级	$RI$ 值范围	总潜在生态风险指数
<1	轻微	<40	轻微	<150	轻微生态风险
1~3	中等	40~80	中等	150~300	中等生态风险
3~6	强	80~160	强	300~600	强生态风险
$\geq 6$	很强	160~320	很强	$\geq 600$	很强生态风险
		$\geq 320$	极强		极强生态风险

#### 2.5.2 地累积指数法

采用应用比较广泛的地累积指数法 ( $I_{geo}$ ) 分析渤海辽东湾表层沉积物重金属的污染程度。 $I_{geo}$  法最早应用于莱茵河沉积物重金属污染的评价,由德国学者 Müller 于 1969 年首先提出并使用<sup>[18]</sup>。地累积指数定义的表达式为:

$$I_{geo} = \log_2 [C_n / (k \cdot B_n)], \quad (4)$$

式中,  $C_n$  是指元素  $n$  在沉积物中的实测质量浓度;  $B_n$  是该元素的地球化学背景值;  $k$  为考虑各地岩石差异

可能会引起背景值的变动而取的系数。

Cr、Cu、Zn、Ni、As、Cd、Pb、Hg 的评价参考值采用工业化以前重金属最高背景值,分别为 61、15、65、24、7.7、0.065、20、0.025  $\mu\text{g/g}$ <sup>[17]</sup>。  $k$  为考虑到造岩运动可能引起背景值波动而设定的常数,取 1.5。

地累积指数共分为 0~6 级,表示污染程度由无至极强。最高一级(6 级)的元素含量可能是背景值的几百倍。 $I_{geo}$  值与重金属污染水平的关系见表 3。

表3 沉积物重金属污染程度划分和  $I_{geo}$  值  
Tab.3 Pollution grades of heavy metal of sediments and its  $I_{geo}$

$I_{geo}$ 值	<0	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	>5
级数	0	1	2	3	4	5	6
污染程度	无	无—中	中	中—强	强	强—极强	极强

### 3 结果

#### 3.1 重金属含量分布

##### (1) Cu 元素含量分布

Cu 元素在研究区的含量变化范围为 5.8~49.3  $\mu\text{g/g}$ (表 4),平均含量为 21.6  $\mu\text{g/g}$ ,变异系数为 0.30。Cu 元素含量分布呈北部和西南部含量高,中部、东部和东南部含量低的特点(图 2)。Cu 元素含量高值区分布在锦州港至葫芦岛海域以及葫芦岛以东的部分海域和六股河河口东南向部分海域;低值区主要分布在研究区的东南部及东部海域和六股河河口以东小部分海域。Cu、Zn、Cr、Ni 等元素同黏土和粉砂细粒沉积物呈较强正相关(表 5),即沉积物粒径越小,这些元素含量值也较高,反映出这些元素主要富集在细的粉砂、黏土质组分中<sup>[19]</sup>。

##### (2) Cr 元素含量分布

Cr 元素在研究区的含量变化范围为 6.4~74.7  $\mu\text{g/g}$ (表 4),平均含量为 45.4  $\mu\text{g/g}$ ,变异系数为 0.27。Cr 元素含量呈北部高、南部低,海域中东部略高、两边低的特点(图 2)。Cr 元素含量高值区主要分布在研究区锦州港至葫芦岛海域以及葫芦岛以东的部分海域,低值区主要分布在研究区的东南部及东部海域和六股河河口以东小部分海域。Cr 元素高值区与有机质吸附作用及粉砂、黏土组分有关(表 5)。

##### (3) Zn 元素含量分布

Zn 元素在研究区的含量变化范围为 18.4~200.0  $\mu\text{g/g}$ (表 4),平均含量为 72.2  $\mu\text{g/g}$ ,变异系数为 0.35。Zn 元素含量分布呈北部和西部近岸海域高,东南部和南部含量低(图 2)。Zn 元素含量高值区主要分布在研究区锦州港至葫芦岛海域以及葫芦岛以东的部分海域和葫芦岛以南海域及六股河河口区域。低值区主要分布在研究区的东南部和南部海域。Zn 元素高值区与有机质吸附作用有关(表 5)。

##### (4) Ni 元素含量分布

Ni 元素在研究区的含量变化范围为 5.6~39.4  $\mu\text{g/g}$ (表 4),平均含量为 21.6  $\mu\text{g/g}$ ,变异系数为 0.27。

Ni 元素含量分布与 Cu 元素含量分布非常相似,呈北部和西南部含量高,中部、东部和东南部含量低的分布状态(图 2)。Ni 元素含量高值区主要分布在研究区锦州港至葫芦岛海域以及葫芦岛以东的部分海域和葫芦岛以南海域及六股河口东南部部分海域。低值区主要分布在研究区的东南部、东部海域及六股河河口以东小部分海域。

##### (5) As 元素含量分布

As 元素在研究区的含量变化范围为 3.63~24.50  $\mu\text{g/g}$ (表 4),平均含量为 9.00  $\mu\text{g/g}$ ,变异系数为 0.40。As 元素含量分布表现为西部和西南部高,东部和东北部低的分布状态,高值区呈环状、斑状分布在研究区西南部六股河河口东南部海域以及西部近岸海域、西北部锦州港至葫芦岛海域,含量在 10  $\mu\text{g/g}$  以上,局部可达 24  $\mu\text{g/g}$  以上(图 2)。低值区主要分布在研究区的东南部、东北部和东部海域。As 元素与其他元素和沉积物类型相关性较弱(表 5)。

##### (6) Cd 元素含量分布

Cd 元素在研究区的含量变化范围为 0.05~0.88  $\mu\text{g/g}$ (表 4),平均含量为 0.20  $\mu\text{g/g}$ ,变异系数为 0.78,含量变化相对较大。Cd 元素含量分布呈西部高、东部低和北部高、南部低的特点(图 2)。Cd 元素含量高值区呈环状主要分布在研究区的西北部锦州港至葫芦岛海域及葫芦岛以南海域和西南部六股河河口外部分小海域,含量在 0.40  $\mu\text{g/g}$  以上,局部可达 0.80  $\mu\text{g/g}$  以上(图 2)。低值区主要分布在研究区的东部和南部。

##### (7) Pb 元素含量分布

Pb 元素在研究区的含量变化范围为 12.8~56.5  $\mu\text{g/g}$ (表 4),平均含量为 27.3  $\mu\text{g/g}$ ,变异系数为 0.24,含量变化相对较小。Pb 元素含量分布呈西部高、东部低和南部高、北部低的分布状态(图 2),高值区主要分布西南部六股河口外海域及葫芦岛以东、以南海域。低值区主要分布在研究区的东南部、东部海域及六股河河口以南小区域海域。Pb 元素与有机质和沉积物类型相关性较弱(表 5)。

## (8) Hg 元素含量分布

Hg 元素在研究区的含量变化范围为 0.003 ~ 0.38  $\mu\text{g}/\text{g}$ (表 4), 平均含量为 0.05  $\mu\text{g}/\text{g}$ , 变异系数高达 1.00, 含量变化相对较大。Hg 元素含量类似 Cd 元素含量的分布, 呈西部高、东部低和北部高、南部低的特点(图 2)。高值区呈环状主要分布在研究区的西

北部锦州港至葫芦岛海域及葫芦岛以南海域和西南部六股河河口外部分小海域, 含量在 0.10  $\mu\text{g}/\text{g}$  以上, 局部可达 0.30  $\mu\text{g}/\text{g}$  以上(图 2)。低值区主要分布在研究区的东部和南部。Hg 元素与 Zn、Cd 呈明显正相关关系( $r > 0.82, P \leq 0.01$ , 表 5)。

表 4 辽东湾表层沉积物重金属含量的统计特征

Tab.4 Statistical characteristics of contents of heavy metals in surface sediments from the Liaodong Bay

项目	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Cd	As	Hg
最小值/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	5.8	12.8	18.4	6.4	5.6	0.05	3.63	0.003
最大值/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	49.3	56.5	200.0	74.7	39.4	0.88	24.50	0.38
平均值/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	21.6	27.3	72.2	45.4	21.6	0.20	9.00	0.05
标准偏差/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	6.53	6.63	25.3	12.4	5.93	0.16	3.66	0.05
变异系数	0.30	0.24	0.35	0.27	0.27	0.78	0.40	1.00

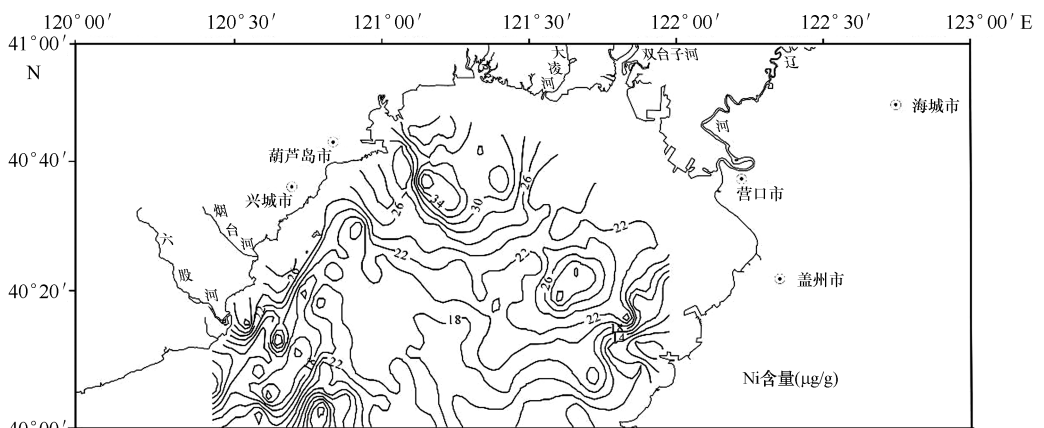
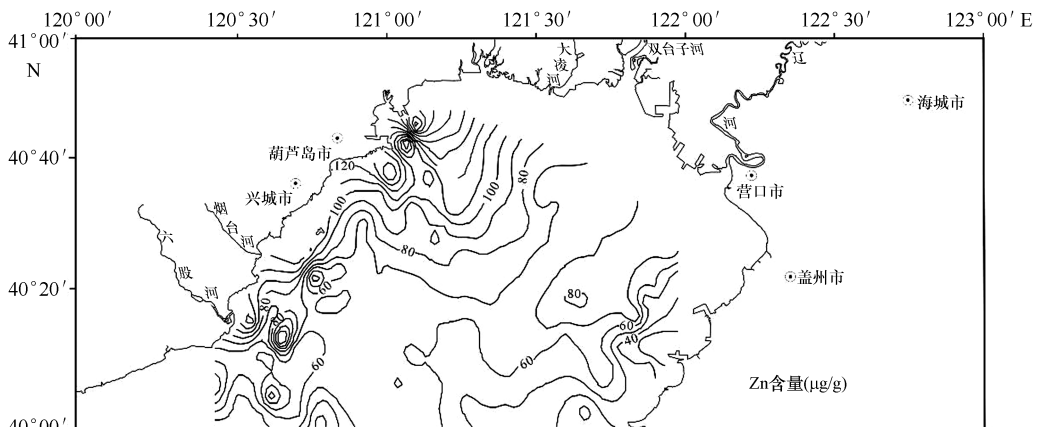
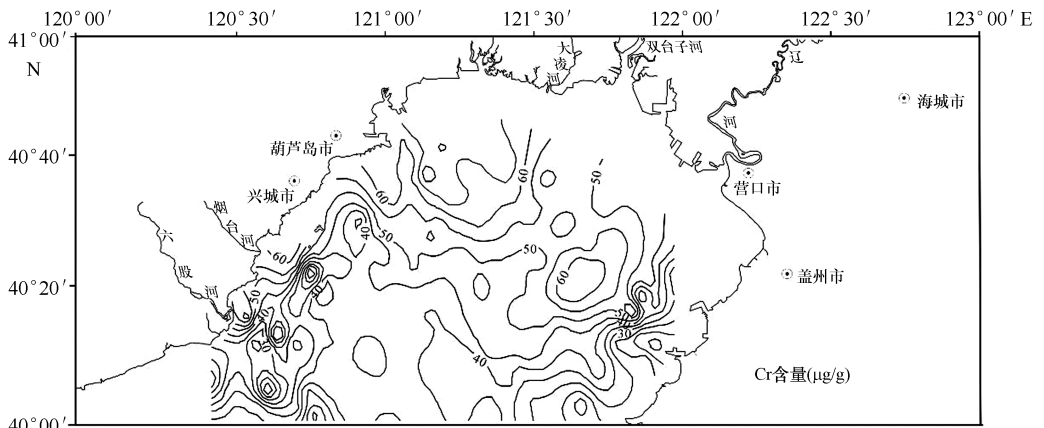
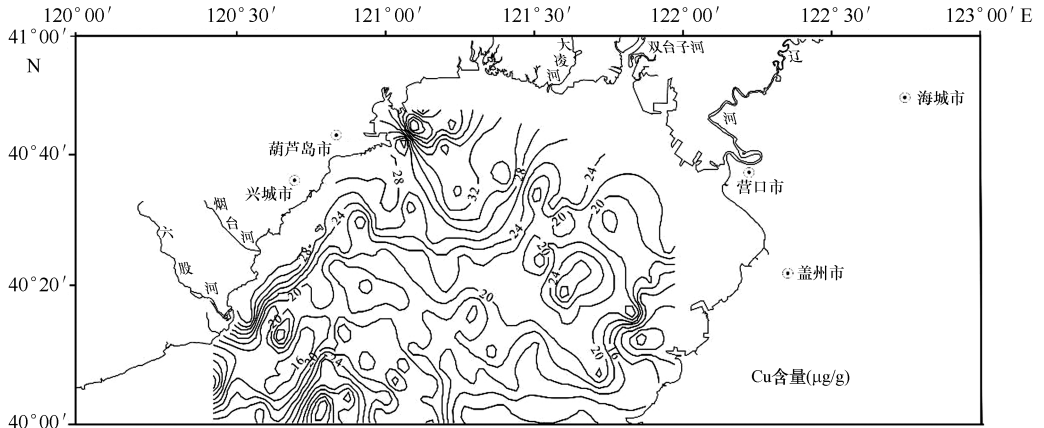
以上分析表明 Cu、Cr、Ni、Zn 等重金属的含量分布类似, 研究区西北部 and 西南部海域高于在研究区东南部、东部海域(图 2); Cu、Cr、Ni、Zn 等元素同细粒沉积物呈较强正相关, 即沉积物粒径越细, 则这些元素含量值也较高, 反映出这些元素主要富集在较细的粉砂、黏土质组分中(表 5)。Cd 与 Hg 含量高值区出现

在西北部, 其他区域含量都较低(图 2), 与有机碳含量和沉积物类型呈正相关(表 5)。Pb 与 As 元素含量的高值区出现在研究区的西南部偏南部沉积区; 而东北部和东部海域 Pb、As 含量较低(图 2), 与其他元素和沉积物类型相关性较弱(表 5)。

表 5 辽东湾表层沉积物各组分的相关关系

Tab.5 Correlation coefficients among the elements of surface sediments from the Liaodong Bay

	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Cd	As	Hg	C <sub>org</sub>	砂	粉砂	黏土
Cu	1.00											
Pb	0.58	1.00										
Zn	0.84	0.41	1.00									
Cr	0.76	0.30	0.80	1.00								
Ni	0.92	0.51	0.80	0.89	1.00							
Cd	0.62	0.26	0.81	0.48	0.49	1.00						
As	0.34	0.30	0.16	0.08	0.29	0.13	1.00					
Hg	0.61	0.26	0.84	0.57	0.54	0.82	0.07	1.00				
C <sub>org</sub>	0.77	0.31	0.82	0.88	0.83	0.50	0.03	0.59	1.00			
砂	-0.73	-0.25	-0.77	-0.90	-0.82	-0.48	-0.02	-0.54	-0.82	1.00		
粉砂	0.68	0.23	0.73	0.89	0.78	0.46	0.01	0.52	0.79	-0.98	1.00	
黏土	0.69	0.21	0.72	0.87	0.80	0.42	-0.01	0.53	0.82	-0.92	0.87	1.00



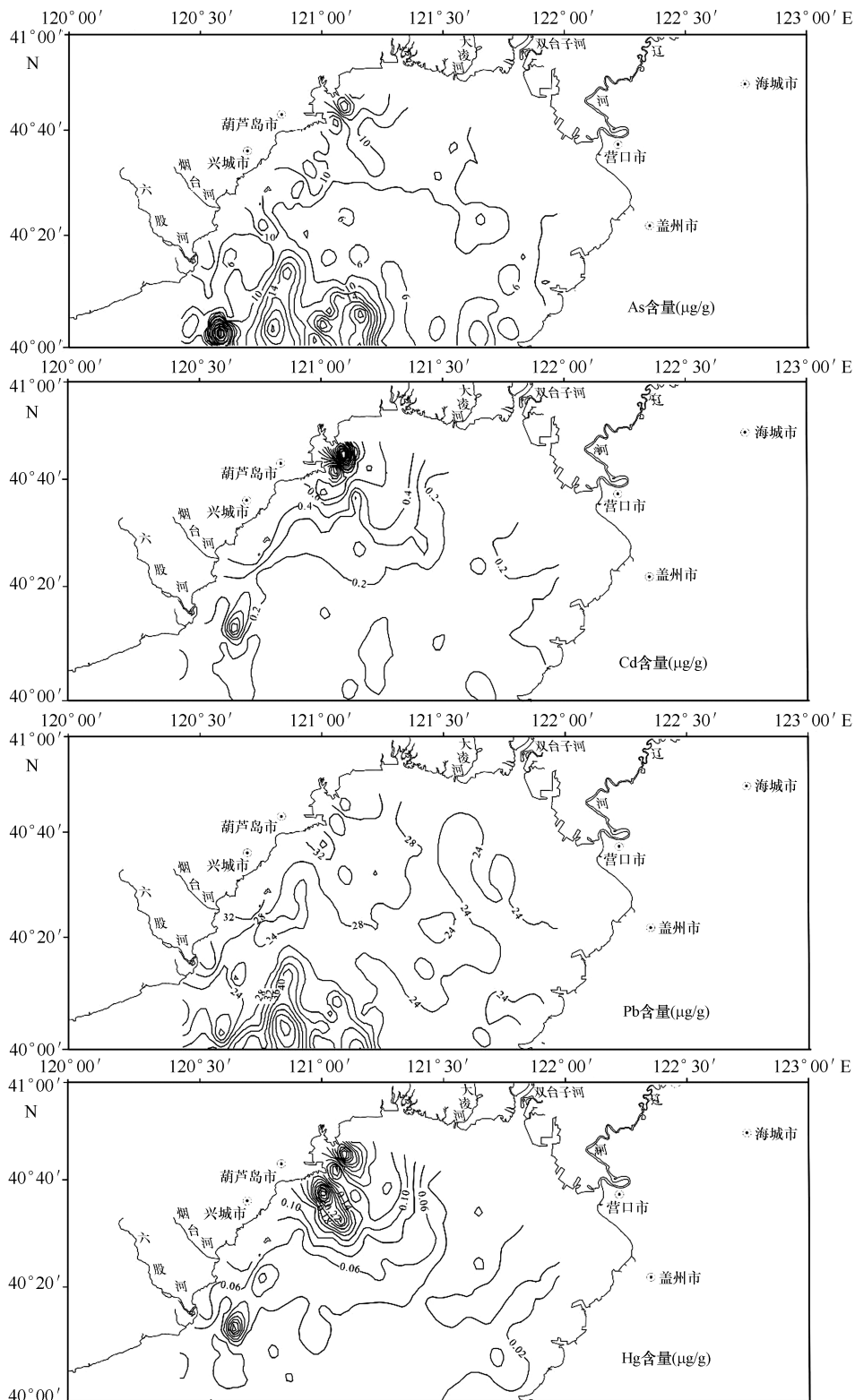


图2 辽东湾表层沉积物 Cu、Cr、Ni、Zn、As、Cd、Pb、Hg 含量分布

Fig.2 Concentrations of Cu, Cr, Ni, Zn, As, Cd, Pb and Hg in surface sediments from the Liaodong Bay

### 3.2 与近海沉积物重金属含量对比

将辽东湾沉积物中重金属含量与我国近海沉积物重金属含量进行比较表明,研究区沉积物中重金属含量水平处于中等水平(表6)。辽东湾沉积物中重金属含量与渤海西部、长江口表层沉积物中的含量相近,但其中Cu、Pb、Zn、Cr含量比海河口、珠江口沉积

物中要低<sup>[20-21]</sup>。辽东湾沉积物局部区域重金属污染较严重,比如锦州湾的重金属污染,其中6种重金属均属于较严重的污染水平<sup>[22]</sup>。研究区沉积物重金属的含量与黄海相比均偏高;研究区重金属含量除Cr、Hg外均较东海高;而南海除Pb、Cr、As外均较渤海辽东湾的高<sup>[23]</sup>。

表6 我国近海沉积物中重金属含量( $\mu\text{g/g}$ )比较

Tab.6 Comparison of heavy metal concentrations( $\mu\text{g/g}$ ) in surface sediments along the coast of China

海域	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Cd	As	Hg	资料来源
研究区	21.6	27.3	72.2	45.4	21.6	0.20	9.00	0.05	本文
滦河口	10.7	36.7	49.6	41.2	19.3	0.06			[20]
海河口	36.5	48.3	189	76.0	48.7	0.15			[20]
黄河口	18.6	13.3	32.0	20.0		0.30	9.00	0.04	[24]
渤海西部	25.5	22.3	75.7	68.9	30.3	0.14	11.7	0.04	[25]
锦州湾	416.9	753.2	6 419	60.6		248.1	396.5		[22]
莱州湾	13.3	20.2	59.4	57.1	19.4	0.10	13.1	0.30	[26]
长江口	23.4	19.3	72.0			0.13	9.87	0.06	[27]
珠江口	38.6	44.0	100.7	81.1		0.20	22.9	0.17	[21]
黄海	18.8	17.6	56.1	32.5		0.13		0.02	[28]
东海	13.0	22.2	68.7	146.2		0.06		0.12	[29]
南海	34.0	24.1	108.0	57.9		0.25	6.58	0.06	[23]

## 4 讨论

### 4.1 潜在生态风险分析

#### 4.1.1 沉积物中重金属潜在生态风险评价

辽东湾海域表层沉积物各重金属元素含量进行单因子污染指数法评价,结果见表7。

由表7可知,研究区海域表层沉积物8种重金属

的单因子污染指数的污染程度由高到低排序为Cd、Hg、Cu、Pb、As、Zn、Ni、Cr, Cd单项污染指数超背景值站位占总数的96.9%,平均值处于强污染状态(表2,表7);Pb、Cu、Hg、As、Zn单项污染指数分别超背景值站位占总数的97.4%、89.7%、75.9%、55.7%、55.4%,平均值处于中等污染状态;Cr和Ni污染状况较轻。

表7 辽东湾表层沉积物重金属的单因子污染指数

Tab.7 Single factor contamination index of heavy metals in the surface sediments from the Liaodong Bay

污染指数	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Cd	As	Hg
最小值	0.39	0.64	0.28	0.16	0.23	0.62	0.47	0.13
最大值	2.78	2.83	3.08	1.15	1.57	13.5	3.18	15.2
平均值	1.44	1.37	1.11	0.75	0.90	3.09	1.16	2.08

表 8 辽东湾表层沉积物重金属潜在生态风险指数

Tab.8 Potential ecological risk indices of heavy metals in the surface sediments from the Liaodong Bay

项目	$E_i^p$ 值								RI 值
	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Cd	As	Hg	
最小值	1.93	4.00	0.28	0.32	1.17	18.4	4.71	5.28	41.00
最大值	12.7	11.1	3.08	2.45	8.21	406	31.8	608	1 057
平均值	7.21	6.83	1.11	1.49	4.50	92.7	11.6	83.3	208.8

研究区沉积物中重金属 RI 均值大于 150, 生态风险总体上处于中等生态风险等级(表 2, 表 8)。8 种重金属的生态风险顺序由高到低依次为 Cd、Hg、As、Cu、Pb、Ni、Cr 和 Zn。所有重金属中 Cd 和 Hg 的生态风险最高, 平均生态风险已经达到了强生态风险等级(表 2); Cd 所有站位中达到强生态风险等级以上风险程度的占 37.1%, 达到中等生态风险以上风险程度的占 94.3%; Hg 所有站位中达到强生态风险等级以上风险程度的占 29.2%, 达到中等生态风险以上风险程度的占 75.9%; 从各站位来看, Cd 元素有 18 站位达到了很强等级风险水平, 另有 5 个站位达到了极强等级的水平; Hg 元素有 21 站位达到了很强等级风险水

平, 另有 3 个站位达到了极强等级的水平; Cd 在重金属生态风险中的贡献率也最高, 占有重金属的 44.4%。Cd 生态风险较高与 Cd 的生物毒性较高和近年来累积速度较快有关。研究区西北部位于重工业较为发达的锦州湾外, 锦州湾 Cd、Zn、As 等重金属已达到级强的污染水平, 属于很高生态风险<sup>[7]</sup>。这说明近年来 Cd 等重金属在我国近岸海域积累现象十分严重。Cd 元素具有较强的生物毒性和生物积累性, 其含量迅速增加对海洋动植物生长和人类健康都存在严重威胁, 因此需要加强近岸海域沉积物中 Cd 含量的监测, 预防其可能引发的生态危机<sup>[30]</sup>。

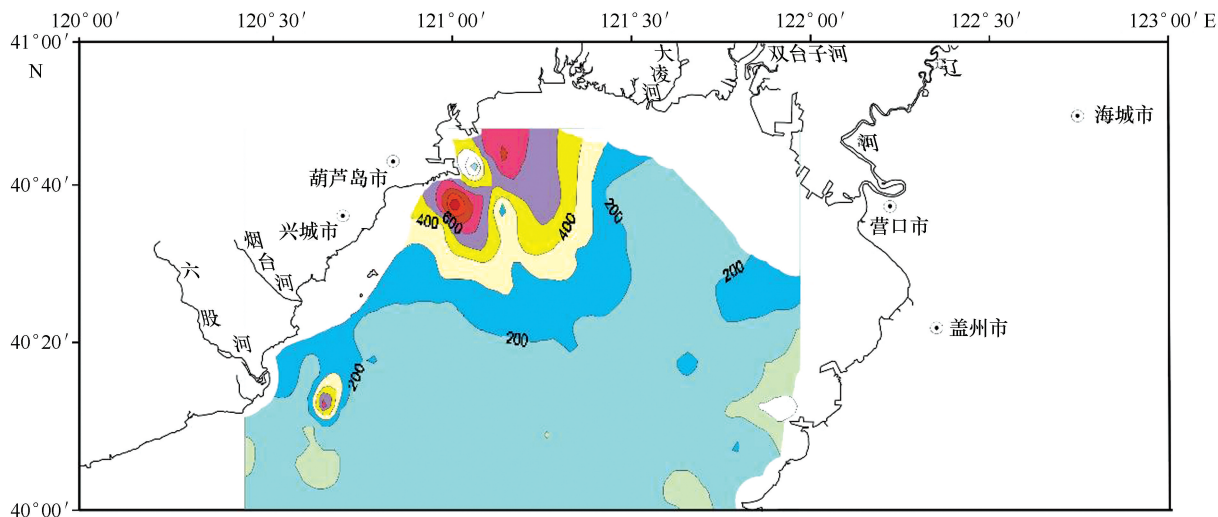


图 3 辽东湾表层沉积物重金属生态风险(RI)分布

Fig.3 Distribution of the potential ecological risk (RI) of heavy metals in surface sediments from the Liaodong Bay

研究区的生态风险较高的地区主要是西北部及西部沿海区, 其中风险最高的地区位于葫芦岛以东海域的南部和东北部, 而研究区生态风险较低的区域主要位于研究区远离海岸带的南部区域和研究区的东部海域(图 3)。葫芦岛附近海域紧邻葫芦岛市重要

的工业区, 造成严重污染的主要原因是葫芦岛市工业企业尤其是锌厂排放的含重金属的废水。同时该海域还是小凌河、五里河和兴城河的入海口, 水中重金属在河口地区沉积也是某些重金属含量在沉积物中升高的原因所在<sup>[4]</sup>。相比之下, 远离海岸的人类活动

较少地区,研究区南部地区无污染排放口,水质状况相对较好。生态风险从河口和工业区向外递减的趋势以及不同近岸海区生态风险状况的差别说明研究区的主要重金属生态风险来源于近海经济活动和内陆河流,而近海区经济活动所产生的沉积物生态风险也有明显的差别。这也是距重工业发展区域较近的锦州湾区域沉积物中重金属生态风险较高的原因所在。因而,调整近海的产业发展模式,严格控制入海河流和工业排海口的污染排放,对降低重金属所带来的生态风险至关重要。

#### 4.1.2 重金属污染程度分析

经地累积指数定义的公式计算,辽东湾海域表层沉积物各重金属元素的地质累积指数结果见表9。

从表9可以明显地看出研究区各重金属的  $I_{geo}$  由大到小顺序为 Cd、Hg、Cu、Pb、As、Zn、Ni 和 Cr,可见 Cd 和 Hg 对整个研究区的环境污染贡献较大。

Cd 是研究区沉积物重金属中主要污染物。有 30% 站位 Cd 地累积分级指数为 2 和 3,达到中、中一强污染程度(表 3、表 9)。Cd 重金属污染区域主要包括西部河流入海口海域、葫芦岛周边海域。

Hg 的地累积分级指数均值为 0.05,为无一中污染程度。研究区的西北部锦州港至葫芦岛海域及葫芦岛以南海域和西南部六股河河口外部分小海域地累积分级指数为 2,个别为 3,达到中、中一强等污染程度(表 3、表 9)。

Cu 的地累积分级指数有 38.5% 大于 0,分布在锦州港至葫芦岛海域以及葫芦岛以东的部分海域和六股河口东南向部分海域地累积分级指数为 1。

Pb 的地累积分级指数绝大多数是 0,基本无污染。分布西南部六股河河口外海域及葫芦岛以东、以南海域地累积分级指数为 1。

As 的地累积分级指数绝大多数是 0,基本无污染。分布西南部六股河河口外海域地累积分级指数为 2,达到中等污染程度。

Zn 的地累积分级指数多数为 0,在研究区锦州港至葫芦岛海域地累积分级指数为 2,达到中等污染程度。

Ni 的地累积分级指数多数为 0,仅 3 个站位大于 0,基本无污染。

Cr 的地累积分级指数均为 0,基本无污染。

表 9 渤海辽东湾表层沉积物重金属的地累积指数 ( $I_{geo}$ )

Tab.9 Geoaccumulation index ( $I_{geo}$ ) of heavy metal in surface sediments from the Liaodong Bay

项目	$I_{geo}$							
	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Cd	As	Hg
最小值	-1.96	-1.23	-2.41	-3.84	-2.29	-1.29	-1.53	-3.51
最大值	1.13	0.91	1.04	-0.29	0.13	3.17	1.08	3.34
平均值	-0.12	-0.17	-0.51	-1.08	-0.80	0.76	-0.45	0.05

综合各重金属的地累积分级指数,总体评价结果是,研究区东部、南部污染相对较轻,其西北及西南部污染较为严重。Pinedo 等<sup>[31]</sup>研究发现沉积物中重金属的积累量与经济活动频繁程度有关,辽东湾沉积物中重金属污染大致出现在 1975 年,于 1997 年达到最大;随后,重金属污染开始明显减少。这与辽东湾沿海经济发展和国家环境保护政策有着密切的联系<sup>[14]</sup>。造成污染的主要原因是工业企业排放的含有重金属的废水、粉尘及废渣等由河流入海所致,尤其葫芦岛以东海域严重污染主要是由葫芦岛锌厂排放的含重金属的废水造成的<sup>[4]</sup>。辽东湾沉积物重金属中主要污染物是 Hg 和 Cd,部分采样点已达到生态风险较高水平,应加大对该海域的环境监测力

度<sup>[30,32]</sup>。

辽东湾底质重金属污染已经较为普遍,尤其是 Cd 和 Hg 污染较严重,分布上以西北和西南部为甚,离西部较远的东部和南部浓度逐渐降低。其主要来源是重金属污染物随河水入海,沉积在底质中逐渐得以富集。减少重金属污染物排放是减轻污染的根本途径,现阶段尚没有经济有效的方法清理大面积的重金属污染。可以采取被动的措施防止重金属污染对人类的影响,在污染严重的海域限制水产品养殖等措施,防止和控制陆源污染物排入,加强有关法规建设及对陆源、面源、沿岸水产养殖的管理和海上污染防治,逐渐向良好的生态系统演替。

## 4.2 沉积物环境质量评价

沉积物环境质量好坏攸关整个水生生态系统的健康与可持续发展。近些年来,随着近海生态环境的变迁,沉积物环境质量评价已成为海洋生态系统环境质量监测、修复以及海洋资源开发与保护的重要基础。

### 4.2.1 重金属富集因子

富集因子( $EF$ )数学表达式为  $EF = (\text{金属}/\text{Al})_{\text{样品}} / (\text{金属}/\text{Al})_{\text{背景}}$ <sup>[32]</sup>。富集因子( $EF$ )是评价人类活动对沉积物中重金属富集程度和污染状况的参数,甄别重金属的来源和富集状况。计算  $EF$  时采用 Al 作为标准化元素,背景值采用工业化以前海洋沉积物中重金属的背景值<sup>[17]</sup>。根据元素富集系数的大小将沉积物富集程度划分为 5 个级别<sup>[33]</sup>,如表 10 所示。

表 10 富集因子分级表<sup>[33]</sup>

Tab.10 Enrichment factor grading<sup>[33]</sup>

$EF$ 范围	级别	富集程度
$EF < 2$	1	$EF < 1$ 无富集, $1 < EF < 2$ 轻度富集
$2 \leq EF < 5$	2	中度富集
$5 \leq EF < 20$	3	显著富集
$20 \leq EF < 40$	4	高度富集
$EF \geq 40$	5	极强富集

依据辽东湾表层沉积物富集系数重金属富集状况可分 4 类(图 4): (1) Cr 元素的富集系数  $EF < 1.0$ , 接近海洋沉积物自然背景值, 无富集; (2) Ni 为轻度富集 ( $1.0 < EF < 2$ ); (3) Cu、Zn、Pb 和 As 为中度富集 ( $2 \leq EF < 5$ ), 可能是受到了人为活动的影响; (4) Cd 和 Hg 为显著富集 ( $5 \leq EF < 20$ ), 明显受到了人为活动的影响。

### 4.2.2 毒性效应预测

一致性沉积物质量基准(CBSQGs)具有毒性效应预测准确度高、普适性强等优点, 近几年来已成为主要的沉积物质量评价工具之一<sup>[34]</sup>。Apitz<sup>[35]</sup> 依据世界不同地区的海洋沉积物物质量基准, 确定了海洋的 CBSQGs。当沉积物中污染物含量低于毒性阈值下限(TEC)值时, 毒性效应发生的概率通常低于 25%; 而当沉积物中污染物含量高于毒性阈值上限(PEC)值时, 毒性效应发生的概率通常大于 75%(表 11)。

表 11 中辽东湾表层沉积物中重金属的含量与毒性阈值相对比, 发现研究区 8 种重金属含量均低于毒

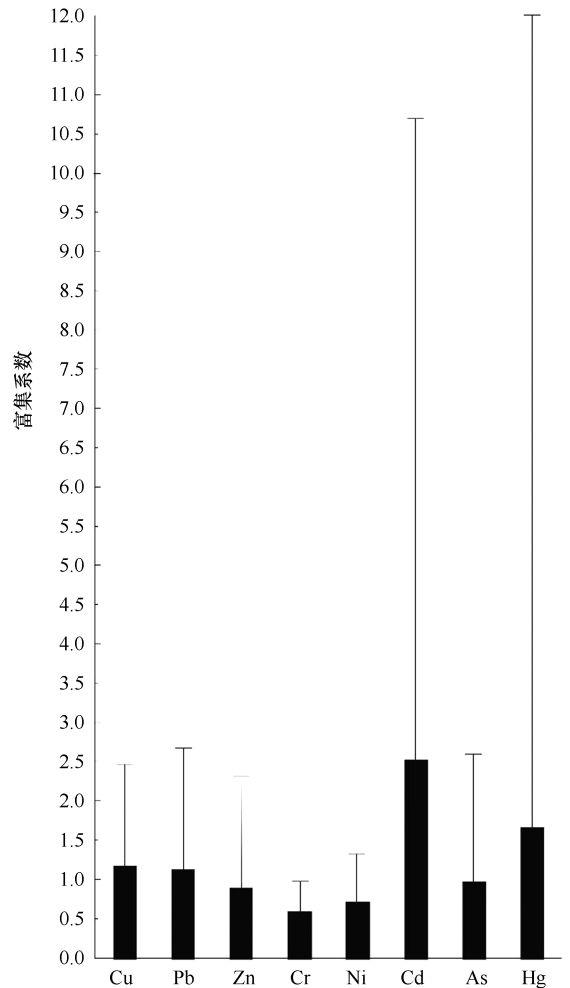


图 4 表层沉积物重金属的富集系数

Fig.4 Enrichment factors of heavy metals in surface sediments

性阈值下限 TEC, 说明研究区重金属引发生物毒性效应的概率较小。

## 5 结论

(1) 辽东湾沉积物中重金属 Cu、Pb、Zn、Cr、Ni、Cd、As、Hg 平均含量分别为 21.6、27.3、72.2、45.4、21.6、0.20、9.00、0.05  $\mu\text{g}/\text{g}$ , 高值区主要分布在研究区葫芦岛附近海域、西南部六股河口东南部海域以及西部近岸海域。与我国近海沉积物中重金属含量相比较, 研究区重金属含量处于中等水平。

(2) 辽东湾生态环境具有潜在危害的重金属主要是 Cd、Hg 和 As。研究区海域表层沉积物 8 种重金属的单因子污染指数的污染程度由高到低排序为 Cd、Hg、Cu、Pb、As、Zn、Ni 和 Cr。Cd 单项污染指数超背景值站位占总数的 96.9%, 平均值处于强污染状

态;研究区表层沉积物中 Cd、Hg 和 As 的  $E_i^p$  明显高于 Cu、Pb、Ni、Cr、Zn,潜在生态风险较大区域主要包括研究区西北部及西部沿海区,其中风险最高的地区

位于葫芦岛以东海域的南部和东北部。研究区沉积物中重金属  $RI$  均值大于 150,生态风险总体上处于中等生态风险等级。

表 11 沉积物中重金属的毒性效应预测(单位:μg/g)  
Tab.11 Toxicity prediction of heavy metals in sediments (unit:μg/g)

毒性阈值	Cu	Pb	Zn	Cd	Ni	Cr	As	Hg
毒性阈值下限 <sup>[34]</sup>	38.2	53.0	153.5	1.04	23.2	78.3	16.1	0.18
毒性阈值上限 <sup>[35]</sup>	214.6	296.0	396.2	5.76	58.3	268.5	54.3	0.66
研究区	21.6	27.3	72.2	0.20	21.6	45.4	9.00	0.05

(3)辽东湾各重金属的  $I_{geo}$  由大到小顺序为 Cd、Hg、Cu、P、As、Zn、Ni 和 Cr,可见 Cd 和 Hg 对整个研究区的环境污染贡献较大。Cd 和 Hg 是研究区沉积物重金属中主要污染物,局部区域达到中、中—强污染程度。研究区表层沉积物重金属污染区域主要位于西部河流入海口海域、葫芦岛周边海域。

(4)富集因子显示,研究区表层沉积物中 Cr 无富集,Ni 为轻度富集,Cu、Zn、Pb 和 As 为中度富集,Cd 和 Hg 为显著富集。毒性效应预测分析显示,8 种重金属含量均低于一致性基准值的阈值下限,显示研究区因重金属引发有害生物效应的可能性不大。

## 参考文献:

- [1] 陈义兰,吴永亭,刘晓瑜,等.渤海海底地形特征[J].海洋科学进展,2013,31(1):75—82.  
Chen Yilan, Wu Yongting, Liu Xiaoyu, et al. Features of seafloor topography in the Bohai Sea[J]. Advances in Marine Science, 2013, 31(1): 75—82.
- [2] 中国科学院海洋研究所海洋地质研究室.渤海地质[M].北京:科学出版社,1985:1—265.  
Department of Marine Geology, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences. Geology of the Bohai Sea[M]. Beijing: Science Press, 1985: 1—265.
- [3] 冯慕华,龙江平,喻龙,等.辽东湾东部浅水区沉积物中重金属潜在生态评价[J].海洋科学,2003,27(3):52—56.  
Feng Muhua, Long Jiangping, Yu Long, et al. Ecological risk evaluation of heavy metals of marine sediment in Liaodong Bays shallow waters[J]. Marine Sciences, 2003, 27(3): 52—56.
- [4] 周秀艳,王恩德,刘秀云,等.辽东湾河口底质重金属环境地球化学[J].地球化学,2004,33(3):286—290.  
Zhou Xiuyan, Wang Ende, Liu Xiuyun, et al. Environmental geochemistry of heavy metals in bottom sediments of the river mouths in Liaodong Bay[J]. Geochimica, 2004, 33(3): 286—290.
- [5] Xu Bing, Yang Xiaobo, Gu Zhaoyan, et al. The trend and extent of heavy metal accumulation over last one hundred years in the Liaodong Bay, China[J]. Chemosphere, 2009, 75(4): 442—446.
- [6] 胡宁静,石学法,黄朋,等.渤海辽东湾表层沉积物中金属元素分布特征[J].中国环境科学,2010,30(3):380—388.  
Hu Ningjing, Shi Xuefa, Huang Peng, et al. Distribution of metals in surface sediments of Liaodong Bay, Bohai Sea[J]. China Environmental Science, 2010, 30(3): 380—388.
- [7] 蓝先洪,孟祥君,侯方辉,等.渤海辽东湾沉积物的元素地球化学[J].海洋地质前沿,2016,32(5):48—53.  
Lan Xianhong, Meng Xiangjun, Hou Fanghui, et al. Elemental geochemistry of sediments in the Liaodong Bay, the Bohai Sea[J]. Marine Geology Frontiers, 2016, 32(5): 48—53.
- [8] 霍素霞.渤海沉积物重金属分布特征及生态风险研究[D].青岛:中国海洋大学,2011.  
Huo Suxia. Research on distribution characteristics and ecological risks of heavy metal in surface sediments of Bohai Sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011.
- [9] 孙钦帮,陈燕珍,孙丽艳,等.辽东湾西部海域表层沉积物重金属的含量分布与污染评价[J].应用海洋学学报,2015,34(1):73—79.  
Sun Qinbang, Chen Yanzhen, Sun Liyan, et al. Concentration distribution and pollution assessment of heavy metals in surface sediments in the western waters of Liaodong Bay[J]. Journal of Applied Oceanography, 2015, 34(1): 73—79.
- [10] 李艺红,王宏,刘瑞志,等.锦州湾表层沉积物重金属潜在生态风险评价[J].沈阳理工大学学报,2013,32(5):17—22.  
Li Yihong, Wang Hong, Liu Ruizhi, et al. Potential ecological risk evaluation of heavy metals in the surface sediments of Jinzhou Bay[J]. Journal of Shenyang Ligong University, 2013, 32(5): 17—22.

- [11] 范文宏, 张博, 陈静生, 等. 锦州湾沉积物中重金属污染的潜在生物毒性风险评价[J]. 环境科学学报, 2006, 26(6): 1000—1005.  
Fan Wenhong, Zhang Bo, Chen Jingsheng, et al. Pollution and potential biological toxicity assessment using heavy metals from surface sediments of Jinzhou Bay[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2006, 26(6): 1000—1005.
- [12] 范文宏, 张博, 张融, 等. 锦州湾沉积物中重金属形态特征及其潜在生态风险[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(1): 54—58.  
Fan Wenhong, Zhang Bo, Zhang Rong, et al. Speciation characteristics and potential ecological risk of heavy metals in surface sediments of Jinzhou Bay[J]. Marine Environmental Science, 2008, 27(1): 54—58.
- [13] 鲍永恩, 符文侠. 辽东湾北部沉积物对重金属集散的控制作用[J]. 海洋学报, 1994, 16(3): 139—142.  
Bao Yongen, Fu Wenxia. Control function of heavy metals distribution in the northern Liaodong Bay sediments[J]. Haiyang Xuebao, 1994, 16(3): 139—142.
- [14] 张现荣, 张勇, 叶青, 等. 辽东湾北部海域沉积物重金属环境质量和污染演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(2): 21—29.  
Zhang Xianrong, Zhang Yong, Ye Qing, et al. Environment quality of Liaodong Bay and pollution evolution of heavy metals[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2012, 32(2): 21—29.
- [15] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach[J]. Water Research, 1980, 14(8): 975—1001.
- [16] 徐争启, 倪师军, 庾先国, 等. 潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(2): 112—115.  
Xu Zhengqi, Ni Shijun, Tu Xianguo, et al. Calculation of heavy metals' toxicity coefficient in the evaluation of potential ecological risk index[J]. Environmental Science & Technology, 2008, 31(2): 112—115.
- [17] 赵一阳, 鄢明才. 中国浅海沉积物地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 1—203.  
Zhao Yiyang, Yan Mingcai. Geochemistry of Sediments of the China Shelf Sea[M]. Beijing: Science Press, 1994: 1—203.
- [18] Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River[J]. Geology Journal, 1969, 2(3): 108—118.
- [19] 董爱国, 翟世奎, Zabel M, 等. 长江口及邻近海域表层沉积物中重金属元素含量分布及其影响因素[J]. 海洋学报, 2009, 31(6): 54—68.  
Dong Aiguo, Zhai Shikui, Zabel M, et al. The distribution of heavy metal contents in surface sediments of the Changjiang estuary in China and surrounding coastal areas[J]. Haiyang Xuebao, 2009, 31(6): 54—68.
- [20] 吕书丛, 张洪, 单保庆, 等. 海河流域主要河口区域沉积物中重金属空间分异及生态风险评价[J]. 环境科学, 2013, 34(11): 4204—4210.  
Lü Shucong, Zhang Hong, Shan Baoqing, et al. Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in the estuaries surface sediments from the Haihe River basin[J]. Environmental Science, 2013, 34(11): 4204—4210.
- [21] 甘华阳, 梁开, 郑志昌. 珠江口沉积物的重金属背景值及污染评价分区[J]. 地球与环境, 2010, 38(3): 344—350.  
Gan Huayang, Liang Kai, Zheng Zhichang. Background values, contamination assessment and zoning of heavy metals in sediments of the Pearl River estuary[J]. Earth and Environment, 2010, 38(3): 344—350.
- [22] 张玉凤, 王立军, 霍传林, 等. 锦州湾表层沉积物重金属污染状况评价[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(2): 178—181.  
Zhang Yufeng, Wang Lijun, Huo Chuanlin, et al. Assessment on heavy metals pollution in surface sediments in Jinzhou Bay[J]. Marine Environmental Science, 2008, 27(2): 178—181.
- [23] 张远辉, 杜俊民. 南海表层沉积物中主要污染物的环境背景值[J]. 海洋学报, 2005, 27(4): 161—166.  
Zhang Yuanhui, Du Junmin. Background values of pollutants in sediments of the South China Sea[J]. Haiyang Xuebao, 2005, 27(4): 161—166.
- [24] 吴晓燕, 刘汝海, 秦洁, 等. 黄河口沉积物重金属含量变化特征研究[J]. 海洋湖沼通报, 2007(S1): 69—74.  
Wu Xiaoyan, Liu Ruhai, Qin Jie, et al. Study on the variance character of heavy metals contents in sediments in Yellow River estuary[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2007(S1): 69—74.
- [25] 蓝先洪, 顾兆峰, 密蓓蓓, 等. 渤海西部表层沉积物中重金属的环境地球化学特征[J]. 现代地质, 2017, 31(2): 367—373.  
Lan Xianhong, Gu Zhaofeng, Mi Beibei, et al. Environmental geochemical characteristics of heavy metals in surface sediments from the western Bohai Sea[J]. Geoscience, 2017, 31(2): 367—373.
- [26] 胡宁静, 刘季花, 黄朋, 等. 渤海莱州湾表层沉积物中金属元素分布及环境质量[J]. 海洋学报, 2012, 34(2): 92—100.  
Hu Ningjing, Liu Jihua, Huang Peng, et al. The distribution and risk assessment of metals in surface sediments of the Laizhou Bay in the Bohai Sea[J]. Haiyang Xuebao, 2012, 34(2): 92—100.
- [27] 何松琴, 宋金明, 李学刚, 等. 长江口及邻近海域夏季表层沉积物中重金属等的分布、来源与沉积物环境质量[J]. 海洋科学, 2011, 35(5): 4—9.  
He Songqin, Song Jinming, Li Xuegang, et al. Distribution, source of heavy metals in the surface sediments and sediment quality of the Changjiang Estuarine and its adjacent regions[J]. Marine Sciences, 2011, 35(5): 4—9.
- [28] 郭福星, 吕颂辉, 滕德强, 等. 黄海表层沉积物中重金属的分布特征与生态风险评价[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(15): 9212—9216.  
Guo Fuxing, Lü Songhui, Teng Deqiang, et al. Distribution patterns and evaluation on potential ecological risk of heavy metals in surface sediments of the Yellow Sea[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(15): 9212—9216.
- [29] 赵宝刚, 邵秘华, 鲍永恩, 等. 东海表层沉积物中重金属集散特征及变化规律[J]. 大连海事大学学报, 2008, 34(3): 13—16, 20.  
Zhao Baogang, Shao Mihua, Bao Yongen, et al. The features of concentration and dispersion of the heavy metals and their changing patterns in surface sediment of East China Sea[J]. Journal of Dalian Maritime University, 2008, 34(3): 13—16, 20.
- [30] 许思思, 宋金明, 袁华茂, 等. 镉、汞、铅和石油烃复合污染对渤海湾常见渔业资源生物的影响初探[J]. 生态毒理学报, 2010, 5(6): 793—802.

- Xu Sisi, Song Jinming, Yuan Huamao, et al. Effects of the combined pollution of Cd, Hg, Pb and petroleum hydrocarbons on common fishery species in the Bohai Bay[J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2010, 5(6): 793–802.
- [31] Pinedo S, Jordana E, Flagella M M. Relationships between heavy metals contamination in shallow marine sediments with industrial and urban development in Catalonia (Northwestern Mediterranean Sea)[J]. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2014, 225: 2084–2085.
- [32] Aksu A, Balkis N, Taskin Ö S, et al. Toxic metal (Pb, Cd, As and Hg) and organochlorine residue levels in hake (*Merluccius merluccius*) from the Marmara Sea, Turkey[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2011, 182(1/4): 509–521.
- [32] El Nemr A, Khaled A, El Sikaily A. Distribution and statistical analysis of leachable and total heavy metals in the sediments of the Suez Gulf[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2006, 118(1/3): 89–112.
- [33] Sutherland R A. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii[J]. *Environmental Geology*, 2000, 39(6): 611–627.
- [34] MacDonald D D, Dipinto L M, Field J, et al. Development and evaluation of consensus-based sediment effect concentrations for polychlorinated biphenyls[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2000, 19(5): 1403–1413.
- [35] Apitz S E. Analysis of the internationally used sediment quality guidelines (SQGs) for use in Venice Lagoon sediment assessment and management [R]. Venice, Italy: SEA Environmental Decisions, 2003: 111–112.

## Pollution characteristics and quality assessment of heavy metals in surface sediments from the Liaodong Bay

Lan Xianhong<sup>1,2</sup>, Meng Xiangjun<sup>1,2</sup>, Mei Xi<sup>1,2</sup>, Xu Yang<sup>1,2</sup>, Huang Long<sup>1,2</sup>, Chen Shanshan<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resource and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China; 2. Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** The present study analyzed the distribution and pollution characteristic of heavy metals in surface sediments from the Liaodong Bay, and then evaluated the potential ecological risk caused by heavy metals to learn the environment quality of sediments. Content distributions of heavy metals including As, Cu, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb and Zn in surface sediments from the Liaodong Bay were studied. Simultaneously, the potential ecological risks of these heavy metals were analyzed by the index method on potential ecological risk and geoaccumulation index ( $I_{geo}$ ) and Environment quality in surface sediments from the Liaodong Bay was evaluated. The contents of As, Cu, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb and Zn in surface sediments appeared higher near the Huludao, southeast sea of the Liugu estuary in the southwest part, near sea in the western. The results of pollution assessment by index of geoaccumulation and the potential ecological risk index were almost the same. The order of ecological risk of these heavy metal is as follow: Cd > Hg > Cu > Pb > As > Zn > Ni > Cr, with Cd, Hg and As being the potential risk elements for the ecological environment from the Liaodong Bay. The assessment result of ecological risk revealed this area belongs to moderate potential ecological risk. The environmental quality assessment showed that the heavy metals in surface sediments from the Liaodong Bay were not likely to cause harmful biological effects, but Cd and Hg were significantly enriched, therefore much attention should be paid to these areas.

**Key words:** Liaodong Bay; surface sediment; heavy metals; quality assessment