

文章编号:1009-2722(2015)07-0047-05

# 北戴河近岸海域表层沉积物 重金属分布特征及污染评价

刘宏伟, 杜东\*, 马震, 郭旭, 陈社明

(中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170)

**摘要:**分析了北戴河近岸海域表层沉积物重金属含量和空间分布特征,利用修正综合指数法和潜在生态风险指数法对其污染程度进行了评价。结果表明,该区表层沉积物重金属平均含量较低,高值区主要分布在西南角和东北角河口,低值区主要分布在中部;区内重金属污染程度总体上处于较低至中等等级,污染相对明显的为人造河口、石河口和秦皇岛城区近岸海域。相对而言,Hg 是主要的致污元素。

**关键词:**重金属;沉积物;污染评价;北戴河

中图分类号:P736.21

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2015.07007

北戴河海域位于渤海北部,近岸区域水深较浅,海流平稳,是著名的度假疗养地和重要的水产品养殖区。石河、戴河、洋河等 17 条河流的注入为该海域带来了丰富营养物质,同时也带来了陆源污染物。重金属是该区沉积物中的主要污染物之一,由于其具有残留时间长、易二次污染、易沿食物链转移的特性,对水生生物和人体健康具有很大的危害<sup>[1]</sup>。很多研究者已在该区开展过相关分析工作,张秋丰<sup>[2]</sup>采用单指数法对洋河口海域表层沉积物中 Cu、Pb、Cr、Cd 等 4 种元素进行污染评价,认为均未造成污染;周秀燕<sup>[3]</sup>采用潜在生态风险指数法对秦皇岛潮间带表层的 Cu、Pb、Zn、Cd 4 种重金属进行污染分析,认为只有 Cd 造

成了明显污染;刘宏伟<sup>[4]</sup>等采用潜在生态风险指数法对秦皇岛入海河口 Cu、As、Pb、Hg、Cd 等元素进行了污染评价,认为 Hg 造成了较强污染。前人研究主要注重在河口或者潮间带附近,鲜见对近岸海域区域污染程度的分析评价。鉴于此,本文采集北戴河近岸海域区域表层沉积物样品,分析重金属含量的平面分布特征,并开展污染评价工作,以期为该海域海洋污染治理和环境保护提供基础依据。

## 1 样品采集与测试

笔者所在的项目组于 2011 年 7 月在北戴河近岸海域采集表层沉积物样品 34 组(图 1),沉积物的采集和储存按照 GB/T 12763.3—2007《海洋监测规范》标准执行;重金属 Cu、As、Pb、Hg 和 Cd 的测试由国土资源部天津矿产资源监督检测中心完成;Cu、Pb、Cd 的含量采用美国热电 M6 型原子吸收分光光度计测定;As、Hg 含量采用 AFS-920 型原子荧光光谱仪测定。所有沉积物样品抽取总样品数的 20% 进行平行样检验,检验结果表明本次测试全部合格。

收稿日期:2015-01-15

**基金项目:**国土资源大调查项目“莱州湾地质环境调查评价”(12120113003800);国土资源部公益性行业科研专项(2010111019);国家海洋局海域使用金项目“北戴河海域综合整治区近现代沉积物污染特征调查评价”(QH15)

**作者简介:**刘宏伟(1982—),男,工程师,主要从事水文环境地质、水化学同位素研究工作。E-mail:liuhenry022@163.com

\* **通讯作者:**杜东(1981—),男,工程师,主要从事水文地质、环境地质、海洋地质研究工作。E-mail:yndd24@163.com

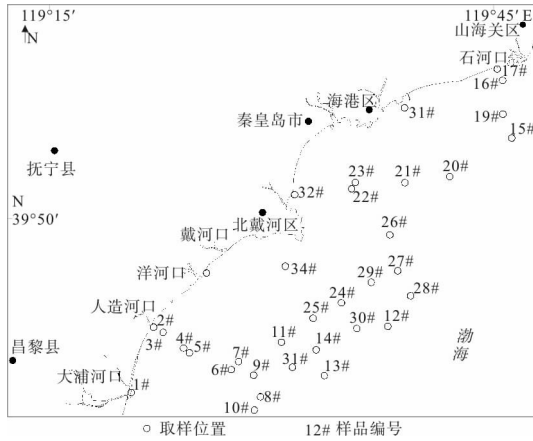


图 1 北戴河近岸海域表层沉积物采样位置

Fig. 1 Location of surface sediment sampling sites in the near-shore area of Beidaihe

## 2 重金属污染评价方法

目前国内外关于沉积物重金属评价方法很多,主要有综合指数法、修正综合指数法、地累积指数法、沉积物富集系数法、潜在生态风险指数法等,各具有不同的适用范围<sup>[5]</sup>。基于现有评价方法,笔者选择了常用、简便、快速且较为准确的修正综合指数法和潜在生态风险指数法。

### (1) 修正综合指数法

修正综合指数法由 Abraham<sup>[6,7]</sup> 提出,该指数能够准确反映沉积物重金属的污染程度,其评价等级划分标准见表 1。公式为:

$$mC_d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i^i \quad (1)$$

$$C_i = C_x / C_b \quad (2)$$

式中:  $C_x$  为重金属的实测值;

$C_b$  为重金属含量的参考值;

$C_i$  是重金属的单污染指数;

$n$  为重金属数量。

表 1 修正综合指数法污染评价等级划分

Table 1 The classification and description of the modified degree of contamination

$mC_d$	污染程度	$mC_d$	污染程度
0~1.5	无一很低	8~16	高
1.5~2	低	16~32	很高
2~4	中等	32~+∞	极高
4~8	较高		

### (2) 潜在生态风险指数法

Hakanson<sup>[8]</sup> 提出的重金属潜在生态风险指数评价法,能反映不同环境对重金属的敏感性差异<sup>[9]</sup>。该指数能够指示样品点的重金属生态危害风险程度。根据这一方法(表 2),区域内沉积物中第  $i$  种重金属的潜在生态危害系数  $E_r^i$ ,以及多种重金属的潜在生态风险指数  $i_r$  的计算公式为:

$$E_r^i = T_r^i C_i^i \quad (3)$$

$$C_i^i = C_s^i / C_n^i \quad (4)$$

$$i_r = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n T_r^i C_i^i = \sum_{i=1}^n T_r^i C_s^i / C_n^i \quad (5)$$

式中:  $T_r^i$  为重金属  $i$  的毒性系数,反映了重金属的毒性水平和生物对其污染的敏感程度;

$C_i^i$  为重金属  $i$  的富集系数;

$C_s^i$  为表层沉积物中重金属  $i$  的实测值;

$C_n^i$  为重金属  $i$  的参考值。

表 2 潜在生态风险指数法污染评价等级划分

Table 2 The classification and description of the potential ecological risk

污染等级	$E_r^i$	$i_r$	程度
1	0~40	0~75	轻度偏低
		75~150	轻度偏高
2	40~80	150~225	中等偏低
		225~300	中等偏高
3	80~160	300~450	强偏低
		450~600	强偏高
4	160~320	600~+∞	很高
5	320~+∞		极高

本次设定 Cu、As、Pb、Hg、Cd 5 种元素的毒性系数分别为 5、10、5、40、30<sup>[1,8,10]</sup>,参考值选用当地背景值<sup>[11]</sup>,分别为 13.28、7.31、19.55、0.015 71 和 0.09 mg/kg。背景值的确定主要以参考文献<sup>[11]</sup>为主要依据。

## 3 结果

### 3.1 重金属含量的分布特征

表层沉积物中 Cu 含量为 5.03~66.26 mg/kg,均值为 18.90 mg/kg; As 为 2.42~13.52 mg/kg,均值为 6.70 mg/kg; Pb 为 7.85~45.17 mg/kg,均值为 19.93 mg/kg; Hg 为 0.016~0.06 mg/kg,均值为

0.04 mg/kg; Cd 为 0.047~0.186 mg/kg, 均值为 0.09 mg/kg。Cu 元素在 31# 和 16# 样点含量较大, As 元素在 3# 和 31# 样点污染含量较大, Pb 在 20#、15# 和 23# 样点含量较大, Hg 元素在 22# 和 3# 样点含量较大, Cd 元素在 15# 和 6# 样点含量较大。重金属的平均含量高低顺序为 Pb>Cu>As>Cd>Hg。

Cu、Pb、Hg、Cd 4 种元素的分布特征一致,

由近岸至远海方向呈增加趋势, 高值区出现在人造河口和秦皇岛城区近岸海域。As 元素的含量由近岸至远海方向呈减小趋势, 高值区出现在人造河口和秦皇岛城区河流入海口附近(图 2)。从数据统计特征来看(表 3), 除了重金属 Cu 含量的变异系数大于 50% 外, 其余 4 种重金属的变异系数较小, 表明它们平面分布差异性较小。

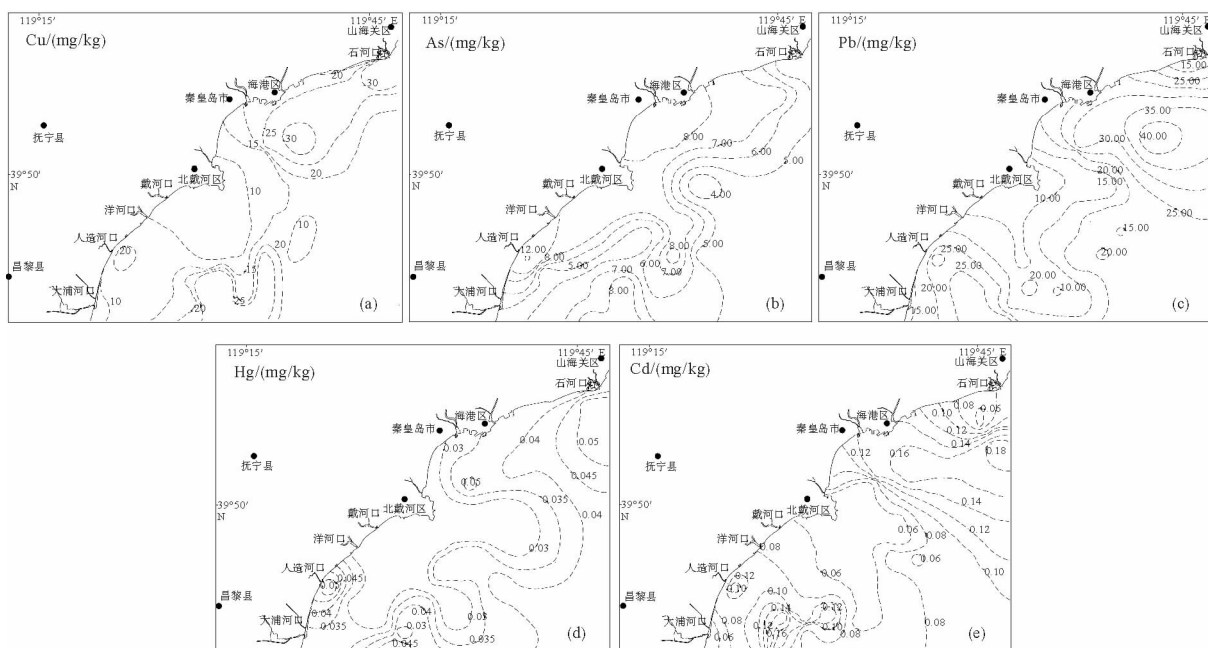


图 2 表层沉积物重金属含量等值线分布

Fig. 2 Distribution of the heavy metals in surface sediments

表 3 表层沉积物重金属含量

Table 3 The content of heavy metals in surface sediments

统计特征	Cu	As	Pb	Hg	Cd
范围	5.03~66.26	2.42~13.52	7.85~45.17	0.016~0.06	0.047~0.186
均值	18.90	6.70	19.93	0.04	0.09
中值	13.69	6.50	18.88	0.04	0.07
标准差	13.76	2.15	9.35	0.01	0.04
变异系数	0.73	0.32	0.47	0.32	0.48

### 3.2 重金属污染评价结果

#### (1) 修正综合指数法

所有样点综合指数范围为 0.71~2.37, 显示

样点处于很低至中等污染程度(图 3)。其中, 处

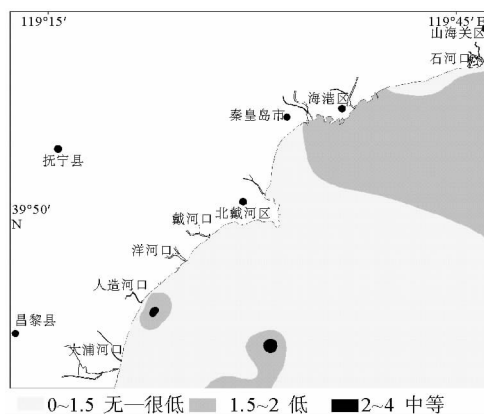


图 3 表层沉积物修正综合指数评价分区

Fig. 3 Assessment result based on  $mC_d$  of surface sediments

于很低污染程度的站位比例为 68.75%，处于低污染程度的站位比例为 25%，处于中等污染程度站位比例为 6.25%。所有样点  $mC_d$  平均值为 1.34，显示了总体污染程度处于较低水平。值得注意的是，人造河口附近的 3# 和 31# 样点处于相对较高污染程度。前者主要是 As 和 Hg 污染较大引起，后者主要是 As 和 Cu 污染较大引起。

#### (2) 潜在生态风险指数法

从单一元素  $E_i^p$  来看，Hg 在所有样点以及 Cd 在 03、06、15、20、21、23、31# 样点潜在生态风险系数  $>40$ ，其余重金属在各样点的潜在生态风险系数均  $<40$ ；这表明 Cd、As、Cu、Pb 重金属潜在生态风险水平较低，Hg 潜在生态风险水平属于中等至强等级，因此，Hg 是最主要的潜在生态风险因子。

各样点重金属综合潜在生态风险指数  $i_r$  均  $<50$ ，属于低至中潜在生态风险水平(图 4)。相对较高生态风险样点靠近人造河口、石河口及秦皇岛城区近岸；03# 样点的潜在生态风险最高为 240.60，结合重金属含量及分布特征来看，主要是 Hg 所致。

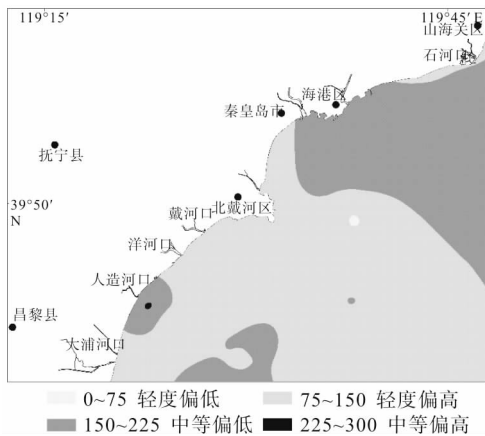


图 4 表层沉积物综合潜在生态风险指数评价分区

Fig. 4 Assessment result based on  $i_r$  of surface sediments

## 4 讨论

### 4.1 重金属分布差异

重金属高值点分布差异在一定程度上反映了不同地点陆缘输入的污染物种类不同。从 5 种元素的相关性来看(表 4)，只有 Pb 和 Cd 相关系数

达到 0.683，体现了它们的相似特性。

研究区中部靠近北戴河城区位置的 5 种元素含量均相对较低，这可能与邻近地表水入海有较大关系。北戴河区是重要的旅游保护区，其附近洁净河水径流入海的冲刷作用会将水流经过的研究区中部含重金属的沉积物向远海和水流两侧冲移，也会引起西南角和东北角重金属含量升高。

表 4 重金属元素的相关系数矩阵

Table 4 Correlation matrix among heavy metals

项目	Cu	As	Pb	Hg	Cd
Cu	1.000				
As	0.335*	1.000			
Pb	0.394*	0.373*	1.000		
Hg	0.396*	0.412**	0.405*	1.000	
Cd	0.390*	0.342*	0.683**	0.188	1.000

注：\*\*表示  $\gamma=0.01$  时显著相关，\*表示  $\gamma=0.05$  时显著相关， $n=32$

### 4.2 2 种评价方法优劣及使用范围

潜在生态危害指数法综合考虑了重金属的毒性、在土壤和沉积物中普遍的迁移转化规律和评价区域对重金属污染的敏感性，以及重金属区域背景值的差异，消除了区域差异影响，体现了生物有效性和相对贡献及地理空间差异等特点，是综合反映重金属对生态环境影响潜力的指标，适合于大区域范围沉积物和土壤进行评价比较。潜在生态危害指数法能体现各种重金属的相对贡献程度、生物有效性和地理空间差异，不过，这种方法也存在某些不足，如不能反映重金属在时间和空间的变化趋势，确定毒性加权系数带有主观性，没有考虑可能存在的拮抗作用；评价指标没有充分体现水化学参数(pH、Eh、碱度及配位体)等对毒性的影响，也未包括水文、地貌等沉积环境条件对元素地球化学分布的影响。而修正综合指数法能够准确反映沉积物重金属的污染程度，污染程度等级划分详细，但它只能反映污染的程度而难于反映污染的质变特征。

### 4.3 2 种评价方法结果对比

2 种评价方法的评价结果显示(图 3、4)，沉积物污染分区特征吻合较好，说明本次评价结果较为合理。

## 5 结论与建议

(1)Cu、Pb、Hg、Cd 的含量分布特征一致,由近岸至远海呈增加趋势,高值位于人造河口和秦皇岛城区近岸海域;As 含量由近岸至远海呈减小趋势,高值区位于人造河口和秦皇岛城区河流入海口处。

(2)北戴河近岸海域沉积物重金属的平均含量高低顺序为 Pb>Cu>As>Cd>Hg。从评价结果来看,引起沉积物污染的主要元素是 Hg。

(3)污染评价结果表明,北戴河近岸海域沉积物总体处于低至中等污染程度,污染相对较重的为人造河口、石河口以及秦皇岛城区近岸海域。

(4)建议加强入海河流各排污口的监测,确定重点污染物在近岸海域的允许排放量;加强工业污染源和生活污水控制(限期治理、节水工艺、生态工业区、调整经济结构、工业布局等);通过绿化工程、沿海防护林体系建设、农田防护林、生态农业、自然保护区建设等进行陆域面源污染的控制;加强船舶油污染、港口锚地排污、海上溢油事故等海上流动源的控制。

### 参考文献:

[1] 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.

- [2] 张秋丰,张建乐,丁家坤. 洋河口海域海洋环境质量现状评价[J]. 海洋环境科学, 1997, 16(4): 38-42.
- [3] 周秀艳,薛向欣,冷文芳,等. 渤海湾秦皇岛段潮间带表层沉积物重金属污染分析[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2010, 31(10): 1437-1440.
- [4] 刘宏伟,杜东,杨吉龙,等. 秦皇岛入海河口区近岸沉积物污染特征与评价[J]. 工程地质学报, 2013, 21(3): 433-437.
- [5] 张鑫,周涛发,杨西飞,等. 河流沉积物重金属污染评价方法比较研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2005, 28(11): 1419-1423.
- [6] Abraham G M S, Parker R J. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand [J]. Environ Monit Assess, 2008, 136: 227-238.
- [7] Abraham G M S. Holocene sediments of Tamaki Estuary: Characterization and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand [D]. New Zealand: University of Auckland, 2005, 361p.
- [8] Hakanson L. Ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach [J]. Water Research, 1980, 14: 975-1001.
- [9] Rubio B, Nombela M A, Vilas F. Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ria de Vigo (NW Spain): an assessment of metal pollution [J]. Marine Pollution Bulletin, 2000, 40: 968-980.
- [10] 罗先香,张蕊,杨建强,等. 莱州湾表层沉积物重金属分布特征及污染评价[J]. 生态环境学报, 2010, 19: 262-269.
- [11] 叶思源. 河北省近岸海域地球化学调查与评价成果报告[R]. 青岛:青岛海洋地质研究所, 2008.

## DISTRIBUTION PATTERN AND CONTAMINATION ASSESSMENT OF HEAVY METALS IN SURFACE SEDIMENTS OF BEIDAIHE NEAR-SHORE AREA

LIU Hongwei, DU Dong\*, MA Zhen, GUO Xu, CHEN Sheming  
(Tianjin Center of China Geological Survey, Tianjin 300170, China)

**Abstract:** This study deals with the concentration and spatial distribution of heavy metals in the near-shore sediments of Beidaihe. The modified degree of contamination ( $mC_d$ ) and potential ecological risk index are adopted to assess the heavy metals contamination. The results show that the mean concentrations of heavy metals are low in the study area in general. They are higher in the estuaries in the southwest part and northeast part and lower in the central part of the study area. It is obviously polluted in the estuaries of the Shihe and Renzaohu rivers and the urban inshore area of Qinhuangdao. Hg is the main element leading to pollution among the heavy metals.

**Key words:** heavy metals; sediment; pollution assessment; Beidaihe