

# 曹妃甸近岸海域表层沉积物中重金属含量 及潜在生态风险评价

王薇,鞠茂伟,李德鹏,孙倩,金帅辰,关晓捷

(国家海洋环境监测中心 大连 116023)

**摘要:**文章对2014年9月曹妃甸近岸海域表层沉积物中重金属含量及其分布进行了分析,并利用Hankanson法对其潜在生态风险进行了评价。结果显示,曹妃甸近岸海域各调查站位沉积物中重金属含量均低于一类沉积物标准限值,Cd和Pb的平均含量均超过了渤海湾重金属背景值,沉积物中重金属含量随离岸距离的增加而呈降低趋势。重金属综合潜在生态风险指数RI为94.11,风险等级为中等,其中重金属潜在生态风险指数由大到小依次为Cd、Hg、Pb、Cu、Zn,除Cd以外其余重金属元素生态风险等级均为较低。重金属潜在生态风险随离岸距离的增加呈递减趋势,分析原因可能源于陆源污染。沉积物中重金属相关性分析表明:曹妃甸近岸海域沉积物中重金属元素Cd和Hg、Pb和Zn呈显著相关性,说明Cd、Hg、Pb、Zn可能具有相似来源。

**关键词:**近岸海域;沉积物;重金属;潜在生态风险;陆源污染

中图分类号:X834;P76

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2018)07-0072-05

## Contents and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of Caofeidian Sea Area

WANG Wei, JU Maowei, LI Depeng, SUN Qian, JIN Shuaichen, GUAN Xiaojie

(National Marine Environment Monitoring Center, Dalian 116023, China)

**Abstract:** In this paper, the contents and distribution of heavy metals in the surface sediments from Caofeidian in September of 2014 were analyzed, and their potential ecological risk was evaluated by Hankanson method. The results showed that the contents of heavy metals in the sediment were below the first standards request of China Marine Sediment Quality, but the average contents of Cd and Pb were above the standards of background value in Bohai bay. It was also found that the contents of heavy metals decreased with the increasing of distance. Potential ecological risk assessment results showed that the comprehensive potential ecological risk index was 94.11, which represented a medium ecological risk. The potential ecological risk caused by heavy metals decreased following the sequence of Cd, Hg, Pb, Cu and Zn, and all the heavy metals caused a low ecological risk except Cd. Similar to the contents of heavy metals, the potential ecological risk decreased with the increasing of distance, which might be caused by land-based pollution. Pos-

itive correlation between Cd and Hg, Pb and Zn was observed, which meant they might have a similar source.

**Key words:** Coastal area, Sediments, Heavy metals, Potential ecological risk, Land-based pollution

## 1 研究背景

曹妃甸位于河北省唐山市南部海域、渤海湾中心地带。曹妃甸于 2003 年开始围填海工程,随着 2008 年《曹妃甸循环经济示范区近期工程区域建设用海总体规划》和 2009 年《曹妃甸循环经济示范区中期工程及曹妃甸国家生态城起步区区域建设用海总体规划》获得国家海洋局批复,曹妃甸海域得到了极大的开发。然而,随着围填海面积的逐渐增加,临港工业区迅速发展,渤海湾海洋污染日益严重<sup>[1]</sup>。

目前,重金属污染已经成为海洋环境污染评价的重要内容<sup>[2-6]</sup>。Hu 等<sup>[7]</sup>对渤海辽东湾表层沉积物中重金属的含量及分布进行了研究,结果发现虽然重金属含量能够达到一类沉积物标准限值要求,然而 Pb 含量的累计指数却偏高。刘明等<sup>[8]</sup>采用电感耦合等离子质谱仪对渤海中部表层沉积物中重金属的含量和赋存相态进行了分析,结果表明多种重金属在渤海湾近岸海域有较高含量。秦延文等<sup>[9]</sup>利用原子吸收法测定了渤海湾表层沉积物种重金属的含量,结果显示该海域底质环境总指数已达到污染程度并有很强的生态危害,其中 Hg 已达重度污染并有极强的生态危害。周笑白等<sup>[10]</sup>对 2013 年 8 月渤海湾表层沉积物重金属含量进行了分析,结果显示渤海湾表层沉积物重金属含量符合海洋沉积物质量一类标准的站位占 83.3%。本研究以 2014 年 9 月曹妃甸近岸海域沉积物中重金属为研究对象,综合分析沉积物中重金属含量及分布特征,并对其潜在生态风险进行评价,以期今后曹妃甸近岸海域的开发与管理提供依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 采样与分析方法

2014 年 9 月在曹妃甸近岸海域布设 14 个样点,调查站位如图 1 所示。样品采集用 0.025 m<sup>3</sup> 抓斗式采泥器采集沉积物样品,用竹刀将样品盛于洁净的聚乙烯袋,供重金属项目分析使用。样品于 105℃ 烘箱内烘干,用玛瑙研钵碾细,过 80 目尼龙筛

(有机碳过金属筛),供后续分析使用。

本次调查项目包括 Cu、Hg、Cd、Pb 和 Zn。其中,Cu、Cd 和 Pb 采用无火焰原子吸收分光光度法测定,Hg 采用原子荧光分光光度法测定,Zn 采用火焰原子吸收分光光度法测定。

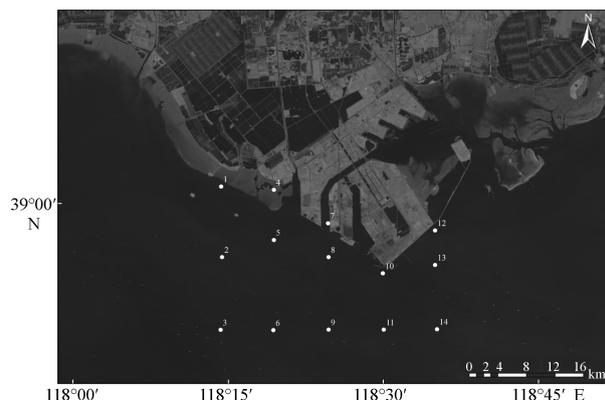


图 1 调查站位分布

### 2.2 单因子指数法

本研究利用单因子指数法分析评价不同站位的重金属污染物超标情况,其数学表达式为:

$$P_i = C_i / S_i$$

式中,  $P_i$  为第  $i$  项污染指数,  $C_i$  为第  $i$  项污染物的实测浓度值,  $S_i$  为第  $i$  项污染物的评价标准值。本研究采用《海洋沉积物质量》(GB18668—2002)中一类标准值作为评价标准。

### 2.3 重金属潜在风险评价方法

1980 年, Hakanson<sup>[11]</sup> 提出了潜在风险指数法,该方法通过分析沉积物中不同重金属的释放能力和生物毒性强度,将沉积物中污染物的含量折算为生物毒性风险,综合反映沉积物中重金属对生态环境的潜在影响<sup>[5]</sup>。潜在生态风险指数计算公式如下:

$$C_j^i = C_a^i / D_a^i$$

$$E_r^i = T_r^i \cdot C_j^i$$

$$RI = \sum T_r^i \cdot C_a^i / D_a^i$$

式中,  $C_j^i$  为第  $i$  种重金属元素的污染系数;  $C_a^i$  为第

$i$  种重金属含量实测值;  $D_a^i$  为第  $i$  种重金属的评价参比值;  $E_i^i$  为第  $i$  种重金属元素的潜在生态风险指数;  $T_r^i$  为第  $i$  种重金属的毒性响应参数; RI 为重金属综合潜在生态风险指数。本研究仅考虑 5 种重金属污染物, 因此对 RI 值进行了调整<sup>[12]</sup>。重金属潜在生态风险指标等级划分标准见表 1, 重金属背景值  $D_a^i$  和毒性响应参数  $T_r^i$  见表 2<sup>[9,13-14]</sup>。

表 1 重金属潜在生态风险指标等级划分标准

$E_i^i$ 范围	单项污染物生态风险分级	RI 范围	综合生态风险指数分级
<40	较低	<65	较低
40~80	中等	65~130	中等
80~160	较高	130~260	较高
160~320	高	$\geq 260$	很高
$\geq 320$	很高		

表 2 重金属背景值和毒性响应参数

项目	Cu	Hg	Cd	Pb	Zn
$D_a^i / (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	25.86	0.068	0.136	16.63	75.00
$T_r^i$	5	40	30	5	1

## 3 结果与讨论

### 3.1 沉积物中重金属含量分析

由表 3 和表 4 可知, 2014 年 9 月曹妃甸近岸海域各调查站位沉积物中重金属含量均低于一类沉积物标准限值。其中, Cd 的平均含量为 0.21 mg/kg, Pb 的平均含量为 18.8 mg/kg, 均超过了渤海湾重金属背景值。其中 Cd 的富集程度最高, 其含量为渤海湾沉积物重金属背景值的 1.54 倍, Pb 含量为渤海湾沉积物重金属背景值的 1.13 倍, 其余 3 种重金属含量均低于背景值。

表 3 曹妃甸近岸海域表层沉积物重金属含量统计

元素	含量范围	平均值	标准值	背景值
Cu	12.2~17.7	15.09	35	25.86
Hg	0.049~0.082	0.067	0.2	0.068
Cd	0.15~0.25	0.21	0.5	0.136
Pb	14.6~23.5	18.8	60	16.63
Zn	45.5~89.5	65.0	150	75.00

表 4 曹妃甸近岸海域表层沉积物重金属指数

元素	标准指数范围	平均值指数
Cu	0.35~0.51	0.43
Hg	0.25~0.41	0.34
Cd	0.30~0.50	0.41
Pb	0.24~0.39	0.31
Zn	0.30~0.60	0.43

图 2 为表层沉积物中重金属含量分布图, 由图 2 可以看出, 曹妃甸近岸海域表层沉积物中 Cu、Hg、Cd、Pb 和 Zn 的含量分布呈相同趋势, 重金属含量由北向南呈逐渐降低, 即随离岸距离的增加而降低。

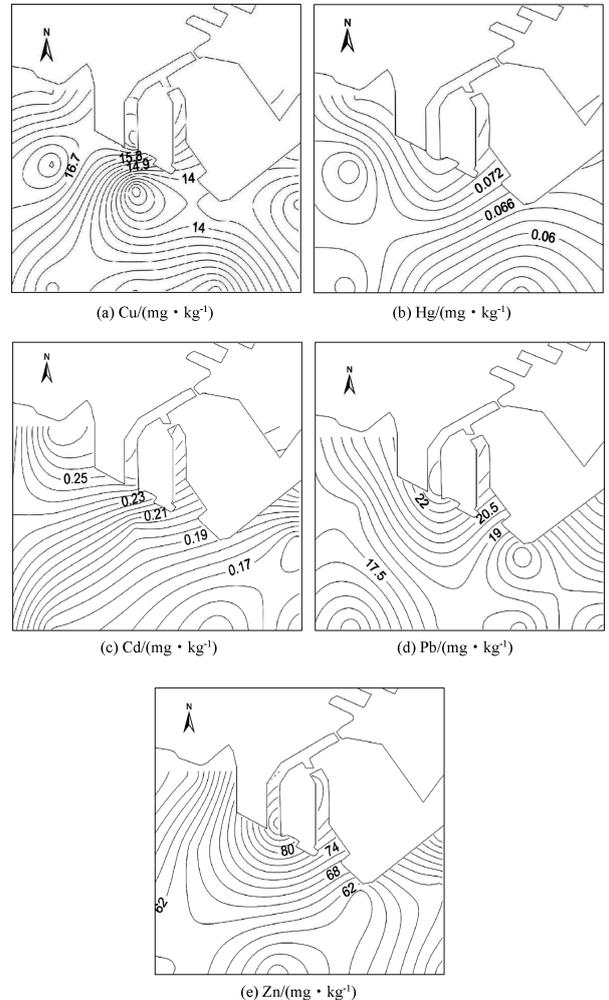


图 2 表层沉积物中重金属含量分布图

### 3.2 沉积物中重金属潜在风险指数

曹妃甸近岸海域表层沉积物中重金属潜在生

态风险指数  $E_i^r$  及重金属综合潜在生态风险指数 RI 结果见表 4。曹妃甸近海海域沉积物中潜在生态风险指数由大到小依次为 Cd、Hg、Pb、Cu、Zn。其中潜在生态风险指数最大的重金属为 Cd,生态风险等级为中等,其余重金属元素生态风险等级均为较低,该结果与王小静等<sup>[15]</sup>的研究结果相同。重金属综合潜在生态风险指数 RI 为  $94.11 < 130$ ,其潜在生态风险等级为中等。由此可见,曹妃甸近岸海域沉积物中 Cd 的累积现象较严重,需要加强近岸海域沉积物中 Cd 的监测。

表 5 曹妃甸近岸海域表层沉积物中重金属相关系数

重金属元素	Cu	Hg	Cd	Pb	Zn
Cu	1	-0.024	0.503	0.059	-0.053
Hg	-0.024	1	0.667**	0.358	0.332
Cd	0.503	0.667**	1	0.268	0.152
Pb	0.059	0.358	0.268	1	0.599*
Zn	-0.053	0.332	0.152	0.599*	1

注: \* 表示在  $P < 0.05$  水平(双侧)上显著相关; \*\* 表示在  $P < 0.01$  水平(双侧)上显著相关。

本研究使用 Surfer 11 对曹妃甸近岸海域各调查站位沉积物中重金属潜在生态风险分布进行了分析(图 3)。其中,4 号和 7 号站位重金属综合潜在生态风险指数最高,分别为 115.2 和 115.0,11 号和 14 号站位重金属综合潜在生态风险指数最低,分别为 71.9 和 82.9。由图 3 可知,曹妃甸近岸海域重金属潜在生态风险随离岸距离的增加呈递减趋势,分析原因可能为曹妃甸近岸海域沉积物中的重金属主要来源于陆源污染,该结果与张彦等<sup>[16]</sup>的研究结果相符。目前,曹妃甸工业区有大量码头和工业园区,人类活动较为频繁,海洋环境受人类活动影响较大。因此,为了降低沉积物中重金属的潜在生态风险,曹妃甸工业区的后续发展中应严格控制入海口的污染排放,优化产业发展。

### 3.3 沉积物中重金属相关性分析

通过对沉积物中重金属元素间的相关性分析可以确定重金属的同源性。时运红等<sup>[17]</sup>通过对深圳湾沉积物中重金属的分析发现,深圳湾底泥中 Cd、Cr、Cu、Pb 和 Zn 之间存在明显的相关性,具有

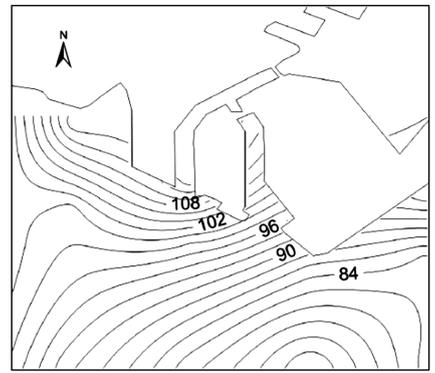


图 3 曹妃甸近岸海域表层沉积物中重金属潜在风险分布

相似的污染途径和迁移过程。张菊等<sup>[18]</sup>分析了 2013 年东平湖表层沉积物重金属的空间分布,结果显示 Cd、Cr、Cu、Ni、Pb 和 Zn 之间具有显著的正相关性,并由此推断其来源受到自然源和大汶河污染输入的双重影响。张明等<sup>[19]</sup>对华东沿海滩涂区表层沉积物重金属含量进行分析,结果表明各省表层滩涂沉积物重金属之间呈现显著正相关,说明各省表层滩涂沉积物重金属具有一定相似来源。

本研究利用 SPSS Pearson 相关性分析对曹妃甸近岸海域表层沉积物中重金属进行了相关性分析,结果见表 5。由表 5 可知,2014 年曹妃甸近岸海域沉积物中重金属元素 Cd 和 Hg 的相关系数为 0.667( $P = 0.009$ ),在 0.01 水平上显著相关;Pb 和 Zn 的相关系数为 0.599( $P = 0.024$ ),在 0.05 水平上显著相关。Pb 和 Zn 属于亲硫元素,沉积环境较为相似,具有沉积同源性<sup>[20]</sup>。通过以上分析说明曹妃甸近岸海域沉积物重金属元素 Cd、Hg、Pb、Zn 可能具有相似来源。

## 4 结论

本研究通过对 2014 年 9 月曹妃甸近岸海域沉积物中重金属含量及潜在生态风险的分析,得出的结果如下。

(1)2014 年 9 月曹妃甸近岸海域各调查站位沉积物中重金属含量均低于一类沉积物标准限值。其中,Cd 和 Pb 的平均含量均超过了渤海湾重金属背景值。Cu、Hg、Cd、Pb 和 Zn 的含量分布呈相同趋势,随离岸距离的增加而降低。

(2)曹妃甸近海海域沉积物中潜在生态风险指数由大到小依次为Cd、Hg、Pb、Cu、Zn。其中Cd的生态风险等级为中等,其余重金属元素生态风险等级均为较低。重金属综合潜在生态风险等级为中等。曹妃甸近岸海域重金属潜在生态风险随离岸距离的增加呈递减趋势,分析原因可能为曹妃甸近岸海域沉积物中的重金属主要来源于陆源污染。

(3)曹妃甸近岸海域沉积物中重金属元素Cd和Hg在 $P$ 小于0.01水平上显著相关;Pb和Zn的相关系数在 $P$ 小于0.05水平上显著相关,说明曹妃甸近岸海域沉积物重金属元素Cd、Hg、Pb、Zn可能具有相似来源。

## 参考文献

- [1] 聂洪涛,陶建华.渤海湾海岸带开发对近海水环境影响分析[J].海洋工程,2008,26(3):44-50.
- [2] 李军,张原,龚香宜,等.福建省兴化湾表层沉积物中重金属污染与评价[J].环境科学与技术,2008,31(1):125-128.
- [3] TOMLINSON D L, WILSON J G, HARRIS C R, et al. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index[J]. Helgoland Marine Research, 1980, 33: 566-575.
- [4] KELDERMAN P, OSMAN A A. Effect of redox potential on heavy metal binding forms in polluted canal sediments in Delft (The Netherlands) [J]. Water Research, 2007, 41(18): 4251-4261.
- [5] BASTAMI K D, BAGHERI H, KHEIRABADI V, et al. Distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments along southeast coast of the Caspian Sea[J]. Marine Pollution Bulletin, 2014, 81(1): 262-267.
- [6] PAZI I. Assessment of heavy metal contamination in Candarli Gulf sediment, eastern Aegean Sea[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2011, 174(1-4): 199-208.
- [7] HU Bangqi, LI Jun, ZHAO Jingtao, et al. Heavy metal in surface sediments of the Liaodong Bay, Bohai Sea: distribution, contamination, and sources [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2013, 185(6): 5071-5083.
- [8] 刘明,范德江,廖永杰,等.渤海中部表层沉积物中重金属赋存相态及来源[J].海洋学报,2016,35(9):98-110.
- [9] 秦延文,苏一兵,郑丙辉,等.渤海湾表层沉积物重金属与污染评价[J].海洋科学,2007,31(12):28-33.
- [10] 周笑白,梅鹏蔚,彭露露,等.渤海湾表层沉积物重金属含量及潜在生态风险评价[J].生态环境学报,2015,24(3):452-456.
- [11] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach [J]. Water Research, 1980, 14(8): 975-1001.
- [12] 刘成,王兆印,何耘,等.环渤海湾诸河口潜在生态风险评价[J].环境科学研究,2002,15(5):33-37.
- [13] 李淑媛,刘国贤,苗丰民.渤海沉积物种重金属分布及环境背景值[J].中国环境科学,1994,14(5):370-376.
- [14] 孙钦帮,王阳,张冲,等.渤海湾西南部近岸海域表层沉积物重金属的含量分布与污染评价[J].人民珠江,2016,37(10):89-93.
- [15] 王小静,李力,高晶晶,等.渤海西南部近岸功能区表层沉积物重金属形态分析及环境评价[J].海洋与湖沼,2015,46(3):517-525.
- [16] 张彦,卢学强,刘红磊,等.渤海湾天津段表层沉积物重金属分布特征及其来源解析[J].环境科学研究,2014,27(6):608-614.
- [17] 时运红,李明远,李波,等.深圳湾沉积物重金属污染时空分布特征[J].海洋环境科学,2017,36(2):186-191,208.
- [18] 张菊,何振芳,董杰,等.东平湖表层沉积物重金属的时空分布及污染评价[J].生态环境学报,2016,25(10):1699-1706.
- [19] 张明,鲍征宇,陈国光,等.华东沿海滩涂区表层沉积物重金属含量特征及风险评价[J].环境科学,2017,38(11).
- [20] 陈景辉,卢新卫,翟萌.西安城市路边土壤重金属来源与潜在风险[J].应用生态学报,2011,22(7):1810-1816.