

# 天津近岸海域沉积物重金属及砷分布与生态风险分析

江洪友<sup>1,2</sup>, 刘宪斌<sup>1</sup>, 张秋丰<sup>2</sup>, 何 荣<sup>2</sup>, 刘 洋<sup>2</sup>, 薄文杰<sup>2</sup>, 王 芹<sup>2</sup>

(1. 天津科技大学 天津市海洋资源与化学重点实验室, 天津 300457; 2. 国家海洋局 天津海洋环境监测中心站, 天津 300457)

**摘要:** 2011 年对天津近岸海域表层沉积物中重金属及砷含量进行了调查, 采用 Muller 地累积指数法和 Hakanson 潜在生态风险指数法(RI), 对该区表层沉积物中重金属及砷的生态风险进行了评价。结果表明: 天津近岸表层沉积物中重金属及 As 含量总体处于较低水平, 33.3% 的站位 Cu 含量超过第一类海洋沉积物质量标准; 单因子指数法和地累积指数法计算污染程度排序一致, 均为  $Cd > Pb > Cu > Zn > Cr > Hg > As$ ; 潜在生态风险评价显示重金属对天津近岸海域生态风险构成的风险程度排序为  $Cd > Hg > Pb > Cu > As > Cr > Zn$ , 天津近岸海域沉积物重金属的潜在生态风险属于低度生态风险。

**关键词:** 天津近岸海域; 重金属; 砷; 生态风险

中图分类号: X821

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2013)09-0082-08

重金属由于其特殊的化学特性及毒性效应, 成为环境中具有潜在危害的重要污染物, 具有高度危害性和难治理性。沉积物作为重金属的源和汇, 不仅蕴含着许多有价值的地质和环境信息, 而且能较好地显示该地区的污染情况<sup>[1-3]</sup>。砷由于其与重金属相似的毒性特性和分析方法, 在分析时一般与重金属同时分析与评价(下面统称重金属)。

为调查天津近岸海域环境污染状况, 2011 年 8 月对天津近岸海域表层沉积物中重金属含量做了调查分析, 采用单因子污染指数法、地累积指数法和潜在生态风险指数法对该海域重金属生态风险做了分析, 并与其他人研究资料做了对比分析<sup>[4-6]</sup>, 为了解该区海洋环境状况、保护海洋环境提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 样品采集

2011 年 8 月, 在天津近岸海域共设 18 个站位(图 1 所示), 覆盖了大港至汉沽近岸海域, 其中 34~39 号站位于大港近岸海域, 40~45 号站位于塘沽近岸海域, 46~51 号站位于汉沽近岸海域, 该区域水深范围在 4~12 m。调查时间为 8 月 4 日~8 月 22 日, 利用抓斗式采泥器采集表层沉积物样品, 试样采集后, 立即带回国家海洋局天津海洋环境监测中心站实验室, 经自然风干, 按四分法收集, 用瓷研钵磨细, 过 100 目尼龙筛, 置于塑料密封袋内保存。所有样品采集、保存、制备、前处理和样品测试等方法均参照《海洋监测规范》<sup>[7]</sup>(GB 17378.5-2007)的要求进行。

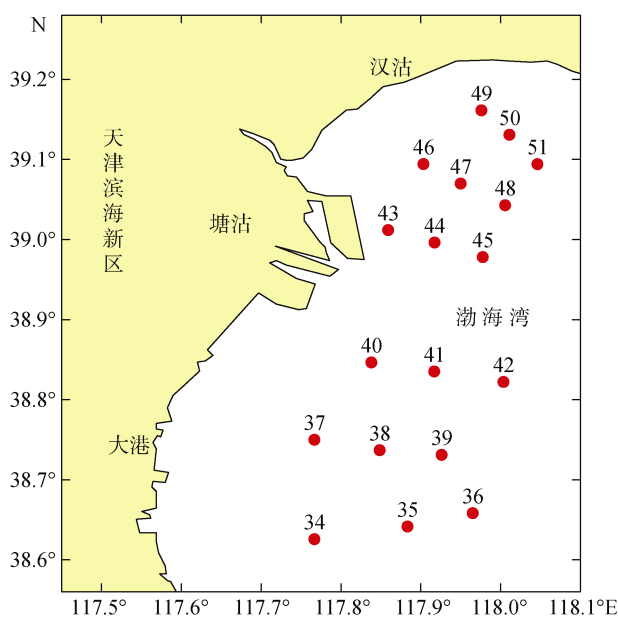


图 1 天津近岸海域沉积物监测站位

Fig. 1 The location of sampling sites in Tianjin offshore area

### 1.2 测定项目与方法

Cu、Pb、Zn、Cd、Cr 分析采用  $HNO_3+HF+HClO_4$  全溶消解, 采用原子吸收分光光度计(岛津 AA-6800 型)测定, Zn 为火焰原子吸收分光光度法测定, Cu、

收稿日期: 2012-06-20; 修回日期: 2012-10-12

基金项目: 国家海洋局重点海域主要环境风险监测项目

作者简介: 江洪友(1981-), 男, 工程师, 山东济南人, 长期从事海洋环境监测与评价工作, 电话: 022-65728827, E-mail: jiang-hongyou@163.com

Pb、Cd、Cr 为石墨炉原子吸收分光光度法测定。Hg、As 采用 HNO<sub>3</sub>+HCl 电热板消解，原子荧光分析仪 (XGY-1011A 型原子荧光光度计) 测定。

分析过程中所用玻璃容器均在体积比为 1:1 的硝酸中浸泡 24 h 以上，聚四氟乙烯容器浸泡 48 h 以上，高纯水冲洗后晾干。分析所用酸均为优级纯，水为高纯水。实验过程中每批样品均做全程空白，并同步分析了由国家海洋局第二海洋研究所生产的近海海洋沉积物成分分析标准物质(GBW07314)，分别控制样品分析的精密度和准确度。重金属元素平行样的相对误差小于 5%，标准物的回收率在 90% ~ 110%。

### 1.3 评价方法

#### 1.3.1 超标率统计

利用国标《海洋沉积物质量》<sup>[8]</sup>(GB18668-2002) 第一类标准值，对监测海域沉积物中重金属含量进行超标率统计，分析各种金属指标超标状况及分布情况。

#### 1.3.2 污染程度分析

使用单因子污染指数  $C_f^i$  (实测污染物浓度与背

景值的比值)和综合污染指数  $C_d$  (各单因子污染指数  $C_f^i$  之和)反映沉积物重金属的污染程度(表 1)。由于背景值选定无统一标准，结合区域研究现状能更好地反映重金属地球化学背景值<sup>[9]</sup>。因此，参考天津近岸背景值研究现状<sup>[10-11]</sup>，选定天津近岸沉积物中 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg、As 的背景参考值分别为 25.63、16.55、74.61、0.112、60.0、0.05、15.0 mg/kg。

表 1 评价指标与污染程度的关系<sup>[9]</sup>

Tab. 1 Relation between the evaluation indexes and the contamination degree

$C_f^i$	单因子污染程度	$C_d$	综合污染程度
<1	低	<5	低
1~3	中等	5~10	中等
3~6	重	10~20	重
6	严重	20	严重

同时使用地积累指数法<sup>[12]</sup>评价沉积物重金属污染程度，地积累指数( $I_{geo}$ )是德国海德堡大学沉积物研究所的 Muller 教授提出的，是一种研究水环境沉积物中重金属污染的定量指标。依据  $I_{geo}$  将沉积物中重金属污染状况划分为 7 个等级(表 2)。

表 2 重金属污染级别与  $I_{geo}$  <sup>[10, 13]</sup>

Tab. 2 Pollution grades of the heavy metal and its  $I_{geo}$

污染指标	清洁	轻度污染	偏中度污染	中度污染	偏重污染	重污染	严重污染
$I_{geo}$	0	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	>5
级别	0	1	2	3	4	5	6

计算公式如下:

$$I_{geo} = \log_2[C_i / (kB_i)] \quad (1)$$

式中,  $C_i$  为实测重金属含量,  $\times 10^{-6}$ ;  $B_i$  为天津近岸重金属背景参考值;  $k$  为考虑到造山运动可能引起背景值波动而设定的常数, 通常取 1.5。

#### 1.3.3 Hakanson 潜在生态风险评价

采用瑞典科学家 Hakanson<sup>[14]</sup>提出的针对沉积物中重金属的潜在生态风险指数法, 来评价沉积物中重金属的潜在生态危害作用, 该方法不但考虑了沉积物中重金属的毒性, 重金属在沉积物中的迁移转化规律, 以及受评价区域对重金属污染的敏感性, 还利用重金属总量分析测试结果与区域背景值进行比较, 消除了区域差异产生的影响。这一评价模型中重金属的危害途径主要是水-沉积物-小型水生生物-鱼-人体。

潜在生态风险指数 RI 的计算方法如下:

$$C_f^i = C_i / C_n^i \quad (2)$$

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

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i \quad (4)$$

式中:  $C_f^i$  为重金属的富集系数,  $C_i$  为沉积物中第  $i$  种重金属的实测含量;  $C_n^i$  为计算所需的参比值;  $T_r^i$  为重金属的毒性系数, 它反映了重金属的毒性水平和对重金属污染的敏感程度, 取值参照表 3,  $E_r^i$  为重金属  $i$  的潜在生态风险系数;  $RI$  为  $n$  种重金属的潜在生态风险指数。

表 3 沉积物中重金属的毒性系数<sup>[3, 9]</sup>

Tab. 3 Toxicity coefficients of the heavy metals in sediments

项目	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As
$T_r^i$	5	5	1	30	2	40	10

污染程度的划分：根据生态风险系数可将沉积物中重金属的污染状况划分为 5 个等级，而依据

潜在生态风险指数可将污染状况划分为 4 个等级 (表 4)。

表 4  $E_r^i$  和 RI 与污染程度的关系<sup>[9]</sup>

Tab. 4 Relationships among ecological risk coefficient, potential ecological risk indices and pollution levels

指数类型	项目	生态风险等级的划分							
$E_r^i$	系数范围	$E_r^i < 40$	40	$E_r^i < 80$	80	$E_r^i < 160$	160	$E_r^i < 320$	$E_r^i \geq 320$
	污染程度	轻微		中等		强		很强	极强
RI	指数范围	$RI < 150$	150	$RI < 300$	300	$RI < 600$	RI $\geq 600$		
	污染程度	轻微		中等		强		很强	

## 2 结果与讨论

### 2.1 天津近岸海域沉积物中重金属的含量及分布特征

18 个采样点表层沉积物重金属含量统计结果见

表 5。结果表明，研究区域表层沉积物重金属含量总体水平较低，铜含量有 33.3% 的站位超过第一类海洋沉积物质量标准，但低于第二类标准。其余监测指标均符合第一类海洋沉积物质量标准 (GB18668-2002)<sup>[8]</sup>。

表 5 天津近岸表层沉积物重金属含量

Tab. 5 The content of the heavy metal in surface sediments in Tianjin offshore area

项目	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As
最小值	22.4	19.8	63.4	0.113	51.7	0.0101	3.67
最大值	39.2	26.6	90.6	0.239	68.6	0.0476	7.49
平均值	30.5	21.6	77.4	0.147	57.5	0.0254	5.45
标准值	35.0	60.0	150	0.500	80.0	0.200	20.0
背景值	25.63	16.55	74.61	0.112 <sup>[3]</sup>	60.0	0.0500	15.0
超标率%	33.3	0	0	0	0	0	0

王秋莲等<sup>[11]</sup>分析了 1997 年到 2007 年天津近岸表层沉积物中 5 种金属元素的含量和时空分布特征，并对其潜在生态危害进行了评价。分析结果为：天津近岸海域的重金属 Cu、Pb、Zn、Cd、Hg 浓度范围分别为 20.8~36.4、19.2~27.6、72~92、0.04~0.10、0.028~0.057 mg/kg，均值分别为 29.6、23.2、81.8、0.08、0.038 mg/kg。本次调查结果与之相比，各金属元素基本处于同一污染水平，Cd 含量略有增加，其他指标无明显变化。

秦延文等<sup>[15]</sup>于 2003 年调查了渤海湾表层沉积物重金属含量并做了风险评价。分析结果为：渤海湾表层沉积物中重金属 Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As 含量范围分别为 24.70~32.04、15.21~19.41、74.26~147.6、0.07~0.20、0.25~0.97、5.46~7.52 mg/kg，平均值分别为 27.21、17.34、98.92、0.12、0.57、6.66 mg/kg。本次调查结果与之相比，Cu、Pb、Cd 含量略有增加，Zn、As 含量有所降低，Hg 含量降低明显。

MengWei 等<sup>[4]</sup>于 2003 年对渤海湾重金属含量进行了调查，分析结果为：渤海湾河口区域表层沉积

物中重金属 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg、As 含量范围分别为 11.40~27.3、17.5~34.9、68.7~392.8、0.14~1.82、18~191、0.02~0.85、6.40~16.5 mg/kg。本次调查结果与之相比，Cu、Pb 含量变化不大，其他指标含量在河口区域明显偏高，渤海湾内站点沉积物重金属含量较低。

对天津近岸表层沉积物重金属含量进行克里格插值得到重金属等值线分布图 (图 2、图 3)，从图中可以看出天津近岸表层沉积物重金属污染具有显著特征：Cu、Cr 和 As 含量呈现较为相似分布特征，最大值均出现了大港近岸海域，Cu 最大值出现在 39 号站，为 39.2 mg/kg，Cr 最大值出现在 38 号站，为 68.6 mg/kg，As 最大值出现在 37 号站，为 7.49 mg/kg，Hg 和 Zn 的最大值也出现在大港近岸海域，分别为 36 号站和 34 号站，这几个点都处于南港工业区外围，围填海工程施工对其有一定影响。Cd 的最大值出现在塘沽近岸海域，位于大沽排污口附近海域，受陆源排污影响较大。Pb 的最大值出现在汉沽近岸海域，位于北塘河口附近海域，受陆源排污影响较大。分别

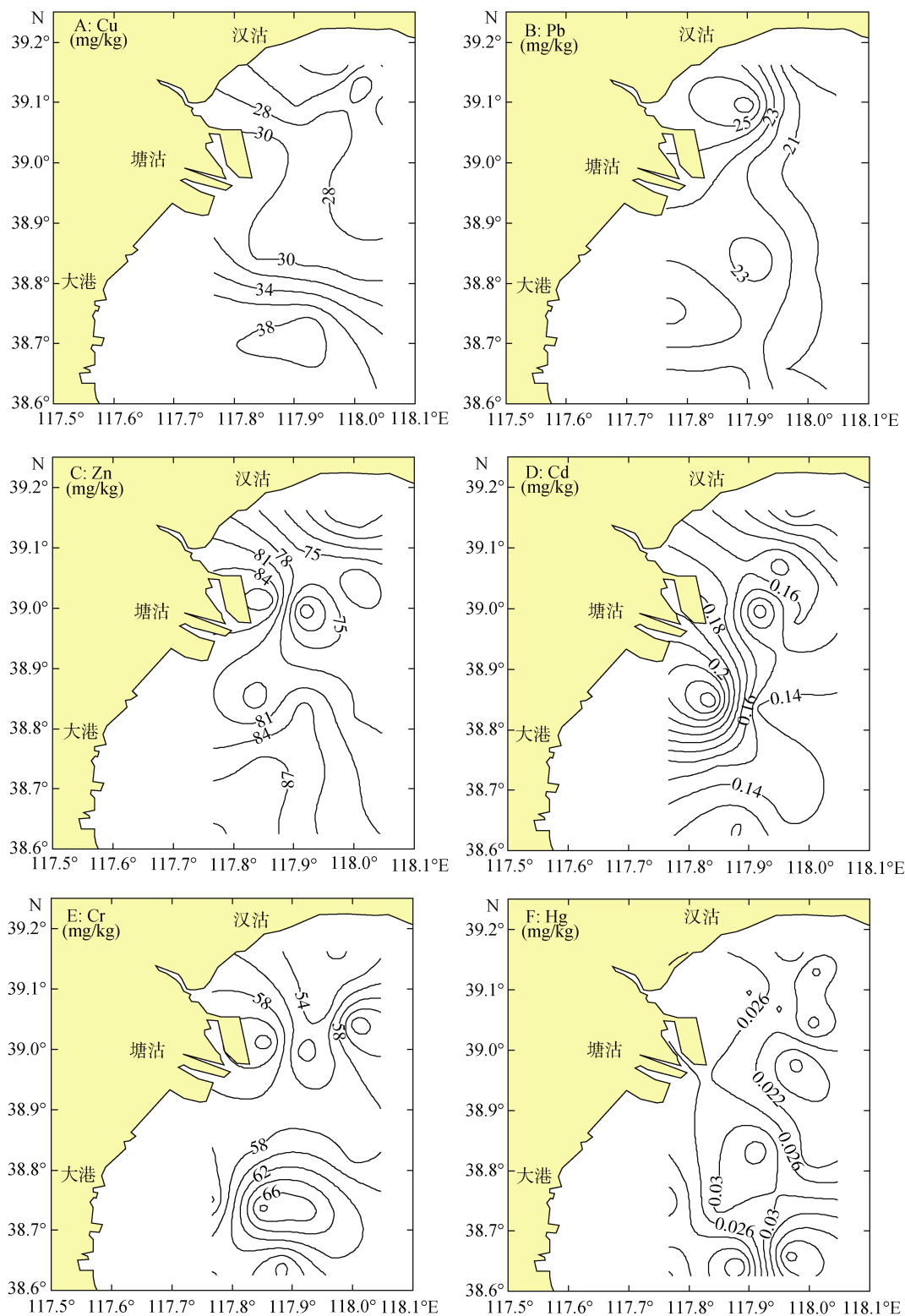


图2 天津近岸沉积物重金属含量分布图

Fig. 2 Distribution of the heavy metals in surface sediments in Tianjin offshore area

统计各海区的污染物含量可知, Cu、Zn、Cr、Hg、As 均值以大港近岸海域最高, Pb、Cd 均值以塘沽近岸海域最高, 汉沽近岸海域各元素分布较均匀, 污染物含

量较低。综上所述, 各污染物极大值均出现在受陆源排污影响的区域和围填海海洋工程附近, 说明陆源排污和人类开发活动是造成海洋污染的主要原因。

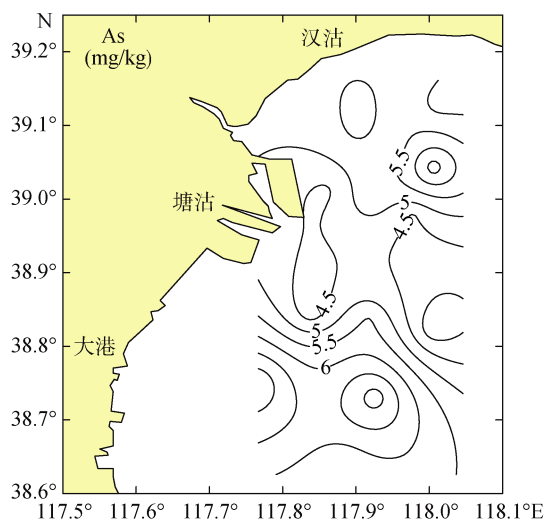


图3 天津近岸沉积物砷含量分布图

Fig. 3 Distribution of arsenic in Tianjin offshore

刘俐等<sup>[13]</sup>对海河干流及其邻近海域沉积物进行了调查, 分析了不同粒径中重金属含量水平。结果为: 海河中各粒径复合体上 Cu、Pb、Cd 的含量明显高

于渤海湾中各粒径相应的重金属含量, 平均为渤海湾沉积物的 2 倍左右。Cr 在海河与渤海湾各粒径中的含量相对比较接近。张淑娜等<sup>[10]</sup>研究发现, 受重金属污染海域主要分布于北塘口、独流减河河口、大沽口、岐口河河口附近和中部海区海域。本次研究也表明天津近岸海域沉积物重金属主要来源于陆源排污和人类开发活动。

## 2.2 沉积物重金属污染程度分析

根据单因子污染指数法对天津近岸表层沉积物重金属进行评级(表 6), Pb、Cd 在全部站位污染程度均为中等, 污染较普遍; Cu 有 88.9%的站位污染程度为中等, 主要集中在大港和塘沽近岸海域; Zn 在 77.8%的站位污染程度为中等, 大港近岸海域分布最明显; Cr 在 33.3%的站位中污染程度为中等, 主要集中在大港和塘沽近岸海域; Hg、As 都属于清洁级别, 天津近岸几乎未受到这两种元素的污染。污染地区均集中在大港和塘沽近岸海域。

表 6 沉积物中重金属污染单因子评价结果

Tab. 6 The results of single factor evaluation on heavy metal pollution in sediments

站位	单因子污染指数							综合污染指数
	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As	
34	1.46	1.44	1.21	1.17	1.00	0.54	0.40	7.22
35	1.45	1.42	1.16	1.06	0.92	0.20	0.37	6.59
36	1.47	1.27	1.10	1.28	1.04	0.95	0.40	7.51
37	1.47	1.24	1.14	1.43	0.89	0.31	0.50	6.98
38	1.47	1.28	1.19	1.32	1.14	0.63	0.41	7.44
39	1.53	1.34	1.15	1.33	1.12	0.56	0.49	7.52
40	1.15	1.37	1.02	2.13	0.95	0.56	0.28	7.47
41	1.15	1.44	1.14	1.22	0.99	0.73	0.37	7.04
42	1.13	1.27	1.04	1.23	0.96	0.38	0.24	6.26
43	1.24	1.41	1.20	1.55	1.05	0.53	0.29	7.28
44	1.11	1.30	0.89	1.08	0.88	0.44	0.36	6.06
45	1.08	1.25	1.01	1.44	0.94	0.25	0.30	6.26
46	1.01	1.61	1.01	1.40	0.91	0.61	0.38	6.93
47	1.12	1.34	1.03	1.58	0.87	0.43	0.35	6.71
48	1.08	1.24	1.09	1.46	1.06	0.64	0.45	7.02
49	0.87	1.20	0.85	1.01	0.86	0.38	0.36	5.53
50	1.16	1.21	0.89	1.20	0.89	0.62	0.32	6.28
51	0.98	1.22	0.97	1.20	0.95	0.44	0.34	6.10
平均值	1.22	1.32	1.06	1.34	0.97	0.51	0.40	6.79

各站位的综合污染指数在 5.53~7.52, 全部处于中等污染水平, 说明天津近岸海域沉积物均受到不同程度的污染。各金属元素污染程度排序为 Cd>Pb>Cu>Zn>Cr>Hg>As。

## 2.3 地累积指数法污染程度分级

用地累积指数法计算重金属的污染程度, 将实测的重金属结果转换为  $I_{geo}$  和污染程度分级(表 7)。

表 7 天津近岸海域沉积物重金属  $I_{geo}$  和污染程度分级

Tab. 7  $I_{geo}$  and grade of pollution at different stations in Tianjin offshore area sediments

站位	$I_{geo}$ /污染分级						
	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As
34	-0.04/0	-0.06/0	-0.30/0	-0.36/0	-0.58/0	-1.48/0	-1.90/0
35	-0.05/0	-0.08/0	-0.37/0	-0.50/0	-0.70/0	-2.89/0	-2.01/0
36	-0.03/0	-0.24/0	-0.45/0	-0.23/0	-0.53/0	-0.66/0	-1.89/0
37	-0.03/0	-0.27/0	-0.40/0	-0.07/0	-0.75/0	-2.29/0	-1.59/0
38	-0.02/0	-0.23/0	-0.34/0	-0.18/0	-0.39/0	-1.26/0	-1.87/0
39	0.03/1	-0.16/0	-0.39/0	-0.17/0	-0.42/0	-1.42/0	-1.63/0
40	-0.38/0	-0.14/0	-0.55/0	0.51/1	-0.66/0	-1.41/0	-2.44/0
41	-0.38/0	-0.06/0	-0.40/0	-0.29/0	-0.60/0	-1.04/0	-2.01/0
42	-0.41/0	-0.23/0	-0.53/0	-0.28/0	-0.65/0	-1.97/0	-2.62/0
43	-0.27/0	-0.09/0	-0.33/0	0.05/1	-0.51/0	-1.50/0	-2.35/0
44	-0.43/0	-0.21/0	-0.75/0	-0.47/0	-0.77/0	-1.76/0	-2.08/0
45	-0.47/0	-0.26/0	-0.58/0	-0.06/0	-0.67/0	-2.61/0	-2.34/0
46	-0.57/0	0.10/1	-0.57/0	-0.10/0	-0.72/0	-1.30/0	-1.99/0
47	-0.42/0	-0.17/0	-0.54/0	0.08/1	-0.79/0	-1.81/0	-2.12/0
48	-0.47/0	-0.28/0	-0.46/0	-0.04/0	-0.50/0	-1.24/0	-1.73/0
49	-0.78/0	-0.33/0	-0.82/0	-0.57/0	-0.80/0	-1.97/0	-2.06/0
50	-0.37/0	-0.31/0	-0.76/0	-0.33/0	-0.76/0	-1.27/0	-2.23/0
51	-0.62/0	-0.30/0	-0.63/0	-0.33/0	-0.66/0	-1.76/0	-2.12/0

由表 7 可以看出, 渤海湾 Zn、Cr、Hg、As 均属于清洁级别, 几乎未受到这 4 种元素的污染, Cu、Pb 均有 5.6% 的站位为轻度污染, Cu 受污染站位位于大港附近海域, Pb 受污染站位位于汉沽近岸海域, Cd 在 16.7% 的站位污染程度为轻度污染, 受污染海域主要位于塘沽近岸海域。各重金属元素污染程度排序为: Cd>Pb>Cu>Zn>Cr>Hg>As。

## 2.4 沉积物中重金属的潜在生态风险评价

将 2011 年实测的天津近岸海域沉积物中重金属 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg 及 As 的含量应用潜在生态风险指数法对各处的污染程度及潜在生态风险进行分析。计算中参比值取上述方法中的地球化学环境背景值为参比值, 同 1.3.2 节, 沉积物中重金属的潜在生态风险系数  $E_r^i$  及重金属潜在生态风险指数  $RI$  值见表 8。

表 8 天津近岸表层沉积物中重金属的生态风险系数和潜在生态风险指数

Tab. 8 Potential ecological risk factors ( $E_r^i$ ) and risk indices ( $RI$ ) of heavy metals in the surface sediments of Tianjin offshore area

站位	$E_r^i$							$RI$
	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As	
34	7.30	7.19	1.21	35.1	2.01	21.4	4.03	78.3
35	7.24	7.10	1.16	31.9	1.84	8.1	3.73	61.0
36	7.35	6.34	1.10	38.3	2.08	38.1	4.03	97.3
37	7.35	6.22	1.14	42.9	1.79	12.2	4.99	76.6
38	7.37	6.40	1.19	39.6	2.29	25.0	4.10	86.0
39	7.65	6.71	1.15	39.9	2.24	22.5	4.86	85.0
40	5.75	6.83	1.02	64.0	1.90	22.6	2.77	104.9
41	5.75	7.19	1.14	36.7	1.98	29.1	3.71	85.6
42	5.64	6.37	1.04	37.0	1.91	15.3	2.45	69.7
43	6.22	7.07	1.20	46.6	2.10	21.3	2.93	87.4
44	5.56	6.50	0.89	32.4	1.76	17.7	3.55	68.4
45	5.42	6.25	1.01	43.1	1.88	9.8	2.96	70.5
46	5.05	8.04	1.01	42.1	1.82	24.3	3.77	86.1
47	5.60	6.68	1.03	47.4	1.73	17.1	3.45	83.0
48	5.42	6.19	1.09	43.7	2.12	25.4	4.51	88.4
49	4.37	5.98	0.85	30.3	1.72	15.4	3.59	62.1
50	5.79	6.04	0.89	35.9	1.77	25.0	3.19	78.5
51	4.88	6.10	0.97	35.9	1.90	17.8	3.45	71.0

从单因子潜在生态风险系数  $E_r^i$  可以看出, 7 种元素对天津近岸海域生态风险构成危害的顺序为  $Cd > Hg > Pb > Cu > As > Cr > Zn$ 。其中 Cd 有 38.9% 站位的  $E_r^i$  大于 40, 处于中等生态风险等级, 最大值为位于塘沽近岸海域的 40 号站; 统计各海域镉的风险系数可以发现, 塘沽近岸海域生态风险较高, 其次为大港近岸海域, 汉沽近岸海域生态风险最低。Cu、Pb、Zn、Cr、Hg、As 的  $E_r^i$  均小于 40, 表明这 6 种元素均为低生态风险等级。

综合各单因子潜在生态风险系数  $E_r^i$  计算该站位的潜在生态风险指数  $RI$  可知, 天津近岸海域各站位重金属潜在生态风险指数在 61.0~105 之间, 生态风险等级全部为轻微, 最大值出现在塘沽近岸海域的 40 号站, 该站位位于大沽排污河口附近海域, 可能与陆源排污有关。天津近岸海域生态风险等级总体处于低风险水平。

与安立会等<sup>[3]</sup>的研究结论相比, 渤海湾沉积物重金属潜在风险的主要贡献元素一致, 风险程度略有降低。与张淑娜等<sup>[10]</sup>的研究结果相比, 天津近岸海域沉积物中 Hg 污染程度有所降低, Cd 污染程度升高, 需要对 Cd 的污染加以重视。

### 3 结论

(1) 对天津近岸海域表层沉积物中重金属含量的测定结果表明, 各站点沉积物中 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg 及 As 的含量范围分别为 22.4~39.2、19.8~26.6、63.4~90.6、0.113~0.239、51.7~68.6、0.0101~0.0476、3.67~7.49 mg/kg。Cu 有 33.3% 的站位超过第一类海洋沉积物质量标准, 其他元素未出现超标。

(2) Cu、Zn、Cr、Hg、As 表现出相似的空间变化规律, 即最大值均出现在大港近岸海域, Pb、Cd 最大值均出现在塘沽近岸海域。各地区污染程度统计以大港和塘沽近岸海域较重, 汉沽近岸海域较轻。

(3) 采用单因子污染指数法和地累积指数法计算重金属污染程度结论有所差别, 单因子指数法计算污染程度要重于地累积指数法, 但各元素污染程度排序结果一致, 均为  $Cd > Pb > Cu > Zn > Cr > Hg > As$ 。Hg、As 均属于清洁级别, 其他指标受到不同程度的污染。

(4) 潜在生态风险指数法评价结果表明, 重金属对天津近岸海域生态风险构成的风险程度排序为  $Cd > Hg > Pb > Cu > As > Cr > Zn$ , 其中 Cu、Pb、Zn、Cr、

Hg、As 均为低生态风险等级, Cd 有 38.9% 的站位为中等生态风险等级。总体来看, 天津近岸海域的潜在生态风险处于属于轻微生态风险等级。

#### 参考文献:

- [1] 王伟力, 耿安朝, 刘花台, 等. 九龙江口表层沉积物重金属分布及潜在生态风险评价[J]. 海洋科学进展, 2009, 27(4): 502-507.
- [2] 杨立平, 张学超, 李晓敏, 等. 威海湾沉积物重金属含量分布及其潜在生态危害评价[J]. 海洋科学, 2010, 34(6): 39-43.
- [3] 安立会, 郑丙辉, 张雷, 等. 渤海湾河口沉积物重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 中国环境科学, 2010, 30(5): 666-670.
- [4] Meng Wei, Qin Yanwen, Zheng Binghui, et al. Heavy-metal pollution in Tianjin Bohai Bay, China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2008, 20: 814-819.
- [5] 李淑媛, 郝静. 渤海湾及其附近海域沉积物中 Cu, Pb, Zn, Cd 环境背景值的研究[J]. 海洋与湖沼, 1992, 23(1): 39-48.
- [6] 李淑媛, 刘国贤, 杜瑞芝, 等. 渤海湾及其邻近河口区重金属环境背景值和污染历史[J]. 环境科学学报, 1992, 12(4): 427-438.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB17378-2007 海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [8] 国家技术监督局, GB18668-2002, 海洋沉积物质量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [9] 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(2): 262-269.
- [10] 张淑娜, 唐景春. 天津海域沉积物重金属潜在生态风险危害评价[J]. 海洋通报, 2008, 27(2): 85-90.
- [11] 王秋莲, 刘春光, 关玉春, 等. 天津近岸海域表层沉积物中重金属的生态风险评价[J]. 南开大学学报, 2010, 43(4): 61-66.
- [12] Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River [J]. Geojournal, 1969, 2(3): 108-118.
- [13] 刘俐, 熊代群, 高新华, 等. 海河及邻近海域表层沉积物重金属污染及其分布特征[J]. 海洋环境科学, 2006, 25(2): 40-44.
- [14] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic

pollution control, a sedimentological approach [J].  
Water Res, 1980, 14: 975-1001.

[15] 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.

## Distribution and risk analysis of heavy metals and As in the surface sediment of Tianjin offshore area

JIANG Hong-you<sup>1,2</sup>, LIU Xian-bin<sup>1</sup>, ZHANG Qiu-feng<sup>2</sup>, HE Rong<sup>2</sup>, LIU Yang<sup>2</sup>, BO Wen-jie<sup>2</sup>, WANG Qin<sup>2</sup>

(1. Tianjin Key Laboratory of Marine Resource and Chemistry, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China; 2. Tianjin Marine Environmental Monitoring Central Station, SOA, Tianjin 300457, China.)

**Received:** Jun., 20, 2012

**Key words:** Tianjin offshore area; heavy metals; As; potential ecological risk

**Abstract:** The concentrations of heavy metals and As in the surface sediment samples from Tianjin offshore area were surveyed in 2011, and the ecological risk of heavy metals and As was evaluated using Muller geo-accumulative index and Hakanson potential ecological risk index (RI). The results showed that the concentrations of heavy metals and As in surface sediment of Tianjin offshore area are low. The concentration of Cu in 33.3% stations exceeded the standards of first class of Marine sediment quality. The degree of pollution calculated by single factor index was Cd>Pb>Cu>Zn>Cr>Hg>As, which was consistent with geo-accumulation index. The accumulation coefficients of heavy metals and the ecological risk assessment showed that the potential ecological risk in Tianjin offshore area was Cd>Hg>Pb> Cu>As>Cr>Zn, suggesting that the area had slight potential ecological risk.

(本文编辑: 康亦兼)