

天津塘沽潮间带沉积物中重金属的潜在生态危害评价

刘宪斌¹, 姜中鹏¹, 张光玉², 刘占广¹, 曹佳莲¹, 许崇彦¹, 刘 菁¹

(1.天津科技大学海洋科学与工程学院, 天津 300457; 2.交通部天津水运工程科学研究所水路交通环境保护技术实验室, 天津 300456)

摘要:2006年10月对天津塘沽潮间带沉积物中的重金属(砷、汞、铜、锌、铅、镉、镍和铬)进行了调查研究,并采用瑞典科学家Hakanson的潜在生态危害指数法对重金属的危害性进行了评价。结果表明,塘沽驴驹河-高沙岭段潮间带属于低度生态危害区,而蛭头沽段为中度危害区。汞是产生生态危害的主要重金属,它对蛭头沽-驴驹河段潮间带构成重度危害,而对高沙岭的危害是轻微的。

关键词:天津塘沽;潮间带;沉积物;重金属;潜在生态危害评价

中图分类号:X820.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)02-0731-05

Potential Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals in the Intertidal Zone Sediments of Tanggu, Tianjin

LIU Xian-bin¹, JIANG Zhong-peng¹, ZHANG Guang-yu², LIU Zhan-guang¹, CAO Jia-lian¹, XU Chong-yan¹, LIU Jing¹

(1. Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China; 2. Tianjin Research Institute of Water Transport Engineering, Laboratory of Environmental Protection in Water Transport Engineering, Tianjin 300456, China)

Abstract: The heavy metals, such as arsenic, mercury, copper, zinc, lead, cadmium, nickel and chromium, in the sediments of intertidal zone in Tanggu, Tianjin, were studied in Oct. 2006. And Potential Ecological Risk Index Method proposed by Swedish scientist Hakanson had been applied to evaluate the harm of the heavy metals. The results showed that the ecological risk level in Lvju River and Gaoshaling intertidal zone was light, while moderate in the Chengtougou intertidal zone. The main factor causing ecological hazard was mercury. It posed serious risk to Lvju River and Chentougou intertidal zone and low risk to Gaoshaling intertidal zone.

Keywords: Tanggu Tianjin; intertidal zone; sediments; heavy metals; potential ecological risk evaluation

天津东邻渤海,北依燕山,是我国北方一个人口密集、经济发达的港口工业城市。近些年,由于天津及其上游地区生活污水和工业废水的大量排放,造成了天津近海环境质量的显著下降。废水中携带的重金属不能像有机质那样被微生物降解,而只能在各状态之间转化,并且在水体中与固相具有更强的亲和力,所以绝大部分会迅速地结合到悬浮物和沉积物中^[1]。潮间带是海陆相互作用比较强烈的区域,在潮间带水体动力条件会发生变化,水体中携带的悬浮物会慢慢沉积下来,因此,潮间带沉积物是重金属主要的储存区

之一^[2]。蓄积到沉积物中的重金属不仅会破坏底栖生物的生存环境,而且还会对沿海居民的健康和生存构成一定的威胁。因此,调查天津潮间带沉积物中的重金属含量并进行风险评价具有非常重要意义。通过调查沉积物中重金属的含量不仅可以反映该区域受污染的状况,而且还可以使人们对它的生态危害性有清醒的认识,以便制定正确的政策、合理的管理办法和有效的治理措施来保护海洋的生态环境和人类的生存环境。

1 样品的采集、处理和分析

取样的时间为2006年的10月4、5、6日3d。在天津塘沽段的蛭头沽、驴驹河和高沙岭潮间带分别设置3、3、2个监测断面。除高沙岭的一个断面设置2个监测点外,在其他的7个断面均设置3个监测站位,

收稿日期:2007-05-11

基金项目:天津科技支撑计划重点项目(07ZCKFSF02000);国家重大基础研究项目(2007CB407306)

作者简介:刘宪斌(1964—),男,河北人,博士后,教授,主要从事环境生态调查与修复、海岸带地质环境研究。

E-mail:lxh0688@tust.edu.cn

分别位于高潮位、中潮位和低潮位,1~9、10~18、19~23号站位分别位于驴驹河、蛭头沽、高沙岭潮间带(见图1)。采集的样品放置于用硝酸和蒸馏水洗净的聚乙烯袋中,带回实验室后储存在冰箱中,温度设定为4℃。样品在室温条件下风干,剔除较大的动物残骸、砾石、木屑等杂物,然后磨碎过80目尼龙筛。分析的重金属元素为沉积物中的砷、汞、铜、锌、铅、镉、镍和铬。分析方法按照海洋监测规范(GB17378—1998)^[3]进行,镍的分析方法按照国家环保总局制定的土壤监测标准(GB/T17139—1997)^[4]进行,其中铜、铅、镉、铬用无火焰原子吸收分光光度法测定,锌、镍用火焰原子吸收分光光度法测定,汞用冷原子吸收光度法测定,砷用氢化物-原子吸收分光光度法测定。

2 评价方法

国际上已经形成了许多沉积物中重金属的评价方法,如德国的地积累指数法、瑞典的潜在生态危害指数法、英国的污染负荷指数法、美国的脸谱图法等。在不同的条件下,根据研究对象和研究目的的不同,可以选择不同的评价方法。本次调查侧重于从生态危害的角度来研究重金属的污染水平,所以选用瑞典科学家 Hakanson 的潜在生态危害指数法对沉积物的环境质量进行评价。

“潜在生态危害指数法”作为国际上沉积物重金属研究比较成熟的方法之一,具有简便、快捷且较为准确的特点,它结合环境化学、生物毒理学和生态学

等方面的内容,不仅反映了某一特定环境下各种污染物质的单一影响,而且也反映了多种污染物质的综合影响,并且以定量的方法划分出重金属潜在危害的程度,是目前此类研究中应用较为广泛的一种方法^[5]。

潜在生态危害指数法的计算方法^[6,7]:

2.1 单个重金属污染系数(简称 C_f^i)的确定 (Factor of contamination)

$$C_f^i = C^i_{\text{表层}} / C^i_{\text{参比}}$$

式中: C_f^i 为某一重金属的污染系数,它能够说明调查区域的污染特征,但不能揭示生态效应和生态危害; $C^i_{\text{表层}}$ 为表层沉积物中重金属浓度实测值; $C^i_{\text{参比}}$ 为计算所需的参比值,本文采用李淑媛^[9]、陈静生^[10]研究的渤海沉积物的重金属背景值上限作为参比值进行污染评价(表1)。

2.2 某单个重金属的潜在生态危害指数 (Potential ecological risk index)(简称 E_f^i)

$$E_f^i = C_f^i \times T_f^i$$

式中: T_f^i 为重金属的毒性响应系数。毒性响应系数揭示了重金属对人体的危害和对水生生态系统的危害,用来反映重金属的毒性水平与生态对重金属污染的敏感程度。本文采用 Hakanson 制定的标准化重金属毒性相应系数为评价依据,其毒性相应系数分别为: $\text{Hg}=40, \text{Cd}=30, \text{As}=10, \text{Cu}=\text{Pb}=\text{Ni}=5, \text{Cr}=2, \text{Zn}=1$ ^[8]。

2.3 沉积物中多个重金属的潜在毒性响应系数 (Potential ecological risk index),简称 RI 值

按 $\text{RI} = \sum E_f^i$ 进行计算,重金属潜在生态危害分级

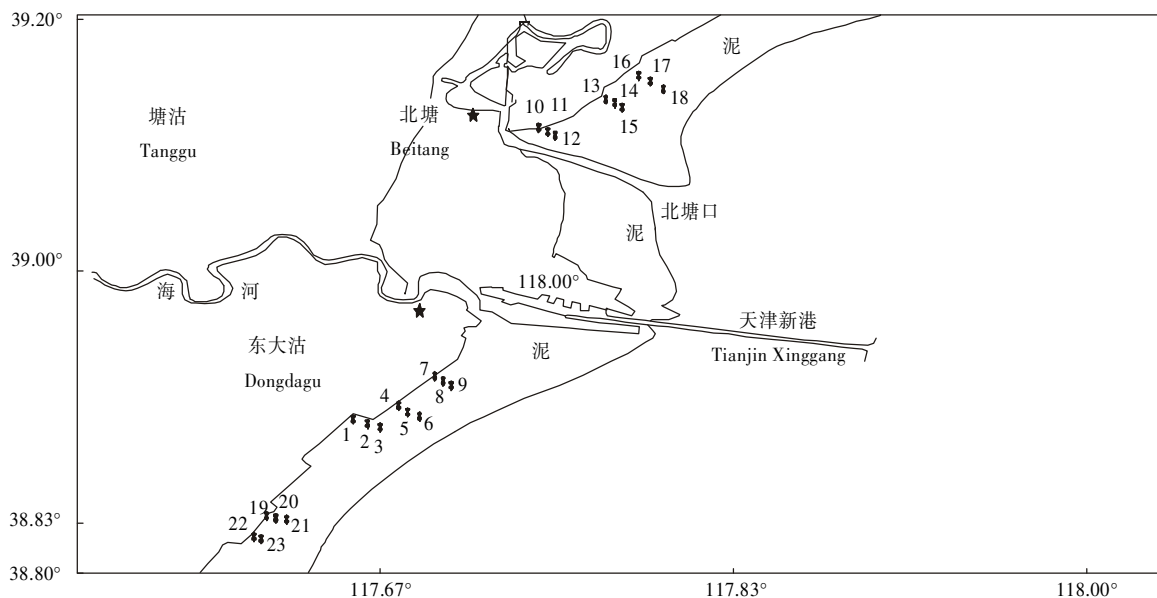


图1 调查站位分布示意图

Figure 1 Distribution of the sampling sites

表 1 渤海湾沉积物中重金属环境背景值

Table 1 Environmental background values of heavy metals
in the sediment of Bohai Bay

元素	Cu	Zn	Pb	Cd	Cr	As	Hg	Ni
背景值上限 /mg·kg ⁻¹	25.86	75	16.63	0.136	60	13	0.05	40

标准如表 2。

3 结果和讨论

3.1 重金属含量及富集状况

由表 3 中可看出,在天津潮间带区域,重金属镉含量较低,最大值仅为 0.13 mg·kg⁻¹,与参比值 0.136 mg·kg⁻¹ 相比没有超标;其他调查元素均有不同程度

的超标现象,镍在 23 个站位中仅有 13 号站点超标,超过参比值(40 mg·kg⁻¹)3%,其他点远小于参比值,所以可认为潮间带沉积物中镍、镉均属自然来源,没有受到人类活动的影响。而砷、汞、铜、锌、铅和铬的超标率分别为 17%、78%、30%、35%、91%和 30%,可见汞、铅在潮间带沉积物中明显富集,受人类活动的影响较大,砷、铜、锌和铬虽也受人类活动的影响,但影响较小。

3.2 重金属潜在生态危害评价

(1)表 4 中,砷、铜、铅、锌、铬、镉、镍等 7 种金属在 23 个站点的潜在生态危害指数均小于 40,表明这 7 种金属在 23 个站点的潜在生态危害均属于轻微危害程度。

表 2 RI, E_f^i 与污染程度的关系表Table 2 The relationships among RI, E_f^i and pollution levels

潜在生态风险参数 E_f^i 范围	单因子污染物生态风险程度	潜在生态风险指数 RI 范围	总的潜在生态风险程度
$E_f^i < 40$	低	RI < 150	低度
$40 \leq E_f^i < 80$	中	$150 \leq \text{RI} < 300$	中度
$80 \leq E_f^i < 160$	较重	$300 \leq \text{RI} < 600$	重度
$160 \leq E_f^i < 320$	重	$600 \leq \text{RI}$	严重
$320 \leq E_f^i$	严重		

表 3 沉积物中重金属分析测定结果(mg·kg⁻¹)Table 3 Contents of heavy metals in the sediments(mg·kg⁻¹)

取样站点	As	Hg	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Cr
驴驹河 1	5.5	0.088	8.0	44.8	19.2	0.06	13.8	49.0
驴驹河 2	6.0	0.184	9.4	45.0	15.8	0.03	12.0	51.0
驴驹河 3	4.4	0.181	10.1	49.5	16.6	0.03	14.4	57.5
驴驹河 4	6.3	0.241	12.9	130.0	22.0	0.07	17.8	66.0
驴驹河 5	4.8	0.107	10.2	46.5	17.9	0.08	15.2	39.4
驴驹河 6	5.3	0.093	8.2	36.4	17.4	0.03	15.4	13.4
驴驹河 7	4.2	0.103	10.8	47.5	17.2	0.04	18.8	55.0
驴驹河 8	5.1	0.086	8.4	48.8	19.8	0.03	16.0	25.0
驴驹河 9	4.7	0.162	9.2	53.0	21.8	0.03	15.9	57.0
蛭头沽 10	14.2	0.226	38.4	124.0	36.4	0.10	39.7	77.5
蛭头沽 11	12.7	0.198	27.2	105.0	27.8	0.07	29.4	68.0
蛭头沽 12	14.1	0.132	34.6	124.0	31.6	0.11	34.2	75.0
蛭头沽 13	16.5	0.183	39.4	178.0	34.8	0.13	41.2	85.0
蛭头沽 14	10.6	0.157	25.3	107.0	24.2	0.05	30.9	66.0
蛭头沽 15	13.8	0.206	34.3	110.0	32.2	0.07	37.2	40.6
蛭头沽 16	6.8	0.131	13.2	35.9	21.2	0.06	12.8	31.6
蛭头沽 17	10.2	0.074	19.0	71.0	24.4	0.05	21.6	47.1
蛭头沽 18	9.9	0.171	27.5	89.5	29.0	0.07	29.9	65.5
高沙岭 19	4.5	0.037	93.0	63.5	21.0	0.06	17.3	45.4
高沙岭 20	5.7	0.047	5.0	56.5	22.2	0.04	16.3	34.2
高沙岭 21	4.8	0.027	17.2	51.0	23.4	0.03	15.9	35.1
高沙岭 22	4.0	0.029	11.0	56.5	19.1	0.05	19.2	42.8
高沙岭 23	6.0	0.028	5.9	53.0	23.2	0.04	23.6	46.4

(2)重金属汞在 5 个站点表现为轻微危害程度, 4 个站点表现为中等危害程度, 11 个站点表现为较重的危害程度, 3 个站点为重的危害程度, 分别占据总调查站位数的 21.7%、17.4%、47.8%、13.1%, 这是导致调查站位潜在风险等级较高的一种元素。而汞在高沙岭潮间带的 5 个监测站点的潜在生态风险全部处于轻微水平, 占据高沙岭布点数的 100%, 表明高沙岭潮间带环境质量良好, 这与高沙岭远离市区, 受人类活动的影响较小具有一定的关系。在蛭头沽和驴驹河潮间带, 汞的 E_f^i 平均值分别为 131.4 和 110.7, 潜在生态风险程度属于重度, 对周围的生态环境和居民的健康构成了一定的潜在威胁。

(3)在驴驹河潮间带重金属汞的潜在生态危害指数远远大于高沙岭, 但蛭头沽和驴驹河两地之间生态危害指数互相交错, 不能直观的看出差别。一般而言, 化学元素在沉积物中的分布类型有正态分布、对数正态分布和偏态分布^[11]。通过鲍永恩^[12]等提供的分布类型判断方法, 可以判断汞在蛭头沽和驴驹河的分布均属于正态分布。假定两地样本母体的方差相等, 那么通过单侧假设可以来检验两地之间的生态危害指数是否存在显著差异。在置信概率为 95% 时进行 t 检

验, 结果表明, 蛭头沽汞的潜在生态危害指数明显大于驴驹河汞的潜在生态危害指数。汞在三地的潜在生态危害程度为蛭头沽>驴驹河>高沙岭, 即沿着天津海岸线从北向南生态危害程度依次减小。

(4)RI 最大值为蛭头沽 10 号站点的 241.4, 最小值为高沙岭 21 号站位的 46.1, 平均值为 135.9, 总体来看生态风险等级为轻微。表 4 中 $RI<150$ 的站点有 12 个, 包括蛭头沽的 2 个, 驴驹河的 5 个, 高沙岭的 5 个, 表明这些站点处于低度的潜在生态风险; $150\leq RI<300$ 的站点有 11 个, 其中蛭头沽 7 个, 驴驹河 4 个, 潜在风险程度为中度; 无 RI 高于 300 的站点。在蛭头沽潮间带, RI 平均值为 179.7, 表明该区沉积物重金属具有“中等生态危害性”, 而在驴驹河 RI 平均值为 136.1, 高沙岭为 56.5, 通过比较, 重金属对三地生态环境的潜在危害程度为蛭头沽>驴驹河>高沙岭, 即从北向南依次降低。

4 结论及建议

(1)天津塘沽的潮间带沉积物中镉、镍的蓄积主要受自然支配, 没有受到人为活动的影响; 而其他元素均不同程度地受到人为活动的影响, 其中汞和铅受

表 4 沉积物中重金属潜在生态危害指数评价结果
Table 4 Potential ecological risk assessment of heavy metals in the sediments

取样站点	As	Hg	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Cr	RI 值
驴驹河 1	4.2	70.4	1.5	0.6	5.8	13.2	1.7	1.6	99.0
驴驹河 2	4.6	147.2	1.8	0.6	4.8	6.6	1.5	1.7	168.8
驴驹河 3	3.4	144.8	2.0	0.7	5.0	6.6	1.8	1.9	166.2
驴驹河 4	4.8	192.8	2.5	1.7	6.6	15.4	2.2	2.2	228.2
驴驹河 5	3.7	85.6	2.0	0.6	5.4	17.6	1.9	1.3	118.1
驴驹河 6	4.1	74.4	1.6	0.5	5.2	6.6	1.9	0.4	94.7
驴驹河 7	3.2	82.4	2.1	0.6	5.2	8.8	2.4	1.8	106.5
驴驹河 8	3.9	68.8	1.6	0.7	6.0	6.6	2.0	0.8	90.4
驴驹河 9	3.6	129.6	1.8	0.7	6.6	6.6	2.0	1.9	152.8
蛭头沽 10	10.9	180.8	7.4	1.7	10.9	22.1	5.0	2.6	241.4
蛭头沽 11	9.8	158.4	5.3	1.4	8.4	15.4	3.7	2.3	204.7
蛭头沽 12	10.8	105.6	6.7	1.7	9.5	24.3	4.3	2.5	165.4
蛭头沽 13	12.7	146.4	7.6	2.4	10.5	28.7	5.2	2.8	216.3
蛭头沽 14	8.2	125.6	4.9	1.4	7.3	11.0	3.9	2.2	164.5
蛭头沽 15	10.6	164.8	6.6	1.5	9.7	15.4	4.7	1.4	214.7
蛭头沽 16	5.2	104.8	2.6	0.5	6.4	13.2	1.6	1.1	135.4
蛭头沽 17	7.8	59.2	3.7	0.9	7.3	11.0	2.7	1.6	94.2
蛭头沽 18	7.6	136.8	5.3	1.2	8.7	15.4	3.7	2.2	180.9
高沙岭 19	3.5	29.6	18.0	0.8	6.3	13.2	2.2	1.5	75.1
高沙岭 20	4.4	37.6	1.0	0.8	6.7	8.8	2.0	1.1	62.4
高沙岭 21	3.7	21.6	3.3	0.7	7.0	6.6	2.0	1.2	46.1
高沙岭 22	3.1	23.2	2.1	0.8	5.7	11.0	2.4	1.4	49.7
高沙岭 23	4.6	22.4	1.1	0.7	7.0	8.8	3.0	1.5	49.1

到的影响最大,砷、铜、锌和铬受到的影响较小。

(2)蛭头沽的重金属生态危害性最大,达到了中等危害程度;高沙岭、驴驹河的重金属生态危害性较小,为低度危害。生态危害程度为蛭头沽>驴驹河>高沙岭,沿海岸线从北向南逐渐减小。

(3)砷、铜、铅、锌、铬、镉、镍等7种金属对天津塘沽潮间带的生态危害均是轻微的。

(4)汞对高沙岭生态环境的危害是轻微的,但对驴驹河和蛭头沽具有“强的生态危害性”,汞在三地的危害程度依次为蛭头沽>驴驹河>高沙岭。

在调查的3个区域中,汞对蛭头沽和驴驹河的生态具有较强的危害性,表明这两地受到了汞的污染。汞是一种严重危害人体健康的环境毒物,广泛应用于氯碱工业、造纸工业、油漆工业、塑料工业以及农药制造业等,调查区域的汞污染很可能来自此类工业废水和废渣的排放。针对目前的污染状况,首先要从源头上进行治理,这不仅要进行污染物排放总量的控制,而且还要实行浓度的控制,使之达标排放。从长远利益出发,要帮助企业改进生产工艺、提高管理水平,使企业在利润持续增加的前提下对环境的污染程度逐步减小,实现经济和环境的双赢。其次是对现在的沉积物环境进行治理,治理沉积物中汞污染的方法有物理法、物理化学法和微生物法,而利用物理及物理化学法不仅要耗费大量的财力物力,而且还会对潮间带的底栖生态环境造成破坏。相比之下,微生物法更具有优势,通过投加优势种来改变汞在沉积物中的状态,使其由活化态转化为稳定态从而达到降低毒性的

目的,具有价廉效果好、对底栖生物无负面影响的优点,因此可以尝试使用微生物或者生物制剂等对该区域的沉积物环境进行治理^[13]。

参考文献:

- [1] 贾振邦,梁涛,林建枝.香港河流重金属污染及潜在生态危害研究[J].北京大学学报(自然科学版),1997,33(4):486-493.
- [2] Selvaraj K, Mohan Ram V, Piotr Szefer. Evaluation of metal contamination in coastal sediments of the Bay of Bengal, India: geochemical and statistical approaches[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2004,49:174-185.
- [3] 国家海洋局.海洋监测规范[M].北京:海洋出版社,1998.
- [4] GB/T 17139-1997.土壤质量镍的测量[S].
- [5] 张鑫,周涛发,杨西飞.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] 冯慕华,龙江平,喻龙.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.
- [7] 黄宏,郁亚娟,王晓栋.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):115-118.
- [8] 赵沁娜,徐启新,杨凯.潜在生态危害指数法在典型污染行业土壤污染评价中的应用[J].华东师范大学学报(自然科学版),2005,1:110-115.
- [9] 李淑媛,苗丰民.渤海底质重金属环境背景值初步研究[J].海洋学报,1995,17(2):78-85.
- [10] 陈静生,周家义.中国水环境重金属研究[M].北京:中国环境科学出版社,1992.
- [11] 王菊英,马得毅,鲍永恩.黄海和东海海域沉积物的环境质量评价[J].海洋环境科学,2003,22(4):21-24.
- [12] 鲍永恩,刘娟.葫芦湾沉积物中重金属集散特征及环境背景值[J].海洋环境科学,1995,14(1):98-105.
- [13] 高太忠,李景印.土壤重金属污染研究及治理现状[J].土壤与环境,1998,8(2):137-140.