

桑沟湾沉积物重金属含量分布及潜在生态危害评价

蒋增杰, 方建光, 张继红, 毛玉泽, 王 巍

(中国水产科学研究院黄海水产研究所, 农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室, 山东 青岛 266071)

摘要:对桑沟湾表层沉积物重金属(Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, As)的含量分布及富集状况进行了调查分析,并采用 Hakanson 的潜在生态危害指数法评价了该湾沉积物中重金属的污染程度和潜在生态危害。结果表明:桑沟湾表层沉积物中 Cu、Zn、Pb、Hg 含量分布特征表现为从西南向的湾底向东北向的湾外逐渐减少的趋势;Cd 在湾中部含量最低,并向四周呈辐射状增高的趋势;As 表现为从湾外向湾内递增的趋势;6 种重金属中,以 Cd 的污染程度最大,平均污染系数为 0.81,其余元素的富集均较低,重金属污染程度由高到低依次为 Cd、Zn、Pb、Cu、As、Hg。潜在生态危害评价结果表明,桑沟湾表层沉积物中重金属的潜在生态危害轻微;污染程度顺序为 Cd > As > Hg > Pb > Cu > Zn,对桑沟湾生态环境具有潜在影响的重金属元素主要是 Cd。

关键词:沉积物;重金属;潜在生态危害;桑沟湾

中图分类号:X53 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)01-0301-05

Distribution Features and Evaluation on Potential Ecological Risk of Heavy Metals in Surface Sediments of Sungo Bay

JIANG Zeng-jie, FANG Jian-guang, ZHANG Ji-hong, MAO Yu-ze, WANG Wei

(Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resources, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Science, Qingdao 266071, China)

Abstract: This paper dealt with the distribution and enrichment of heavy metals in surface sediments of Sungo Bay. Simultaneously, the method of potential ecological risk index presented by Lars Hakanson was used to assess their ecological risk. The results showed that the contents of Cu, Zn, Pb and Hg gradually decreased from southwest to northeast, while As was just the opposite, Cd appeared lowest in the middle of the Bay and radiantly increased around. Among all these heavy metals, the pollution of Cd was most serious with the pollution index 0.81. The pollution degree of these heavy metals in surface sediments followed the order: Cd>Zn>Pb>Cu>As>Hg. The potential ecological risk of the heavy metals in this area belonged to light. The pollution degree of these heavy metals in surface sediments of Sungo Bay was Cd>As>Hg>Pb>Cu>Zn. Cd was the potential impact element for the ecological environment of Sungo Bay.

Keywords: sediments; heavy metal; potential ecological risk; Sungo Bay

重金属是具有潜在危害的重要污染物,与其他污染物不同,特别之处在于它的环境危害持久性、生物地球化学可循环性以及潜在的生态威胁性^[1]。通过各种途径进入水体的重金属污染物绝大部分迅速地由

水相转入固相,并较快地转移至沉积物和悬浮物中,结合了重金属的悬浮物在被水流搬运过程中,当其负荷量超过搬运能力时,便最终进入沉积物中^[2,3]。水体沉积物既是重金属污染物的汇集地,累积的重金属在一定条件下释放进入上覆水,又是对水质有潜在影响的次生污染源^[4,5],因此,具有源和汇双重作用的沉积物在重金属污染评价中至关重要^[6-9]。

桑沟湾位于山东半岛东端(37°01'~37°09'N, 122°24'~122°35'E),为半封闭海湾,北、西、南三面为陆地环抱,湾口朝东,口宽 11.5 km,湾内总面积约 133 km²,平均水深 7~8 m,是中国北方重要的水产养殖海区,

收稿日期:2007-01-31

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(2006CB400608);
国家 863 计划资助项目(2006AA100304);中国水产科学研究院黄海水产研究所基本科研业务费专项资金资助项目(2007-qn-07)

作者简介:蒋增杰(1978—),男,博士生,主要研究方向为海洋生态学。

E-mail:jiangzj@ysfri.ac.cn

通讯联系人:方建光 E-mail:fangjjg@ysfri.ac.cn

有关桑沟湾沉积物的耗氧率^[10]、营养物质溶出动力学^[11,12]以及扩散通量^[13,14]等方面已有许多报道,但关于桑沟湾沉积物中重金属含量水平及评价目前尚未见报道。本研究以桑沟湾表层沉积物为研究对象,采用瑞典科学家 Hakanson 的潜在生态风险指数法,对沉积物中的 Cu、Zn、Pb、Cd、Hg、As 的含量分布规律及其污染特征进行了研究,以期了解桑沟湾沉积环境中重金属的污染现状,为沉积物环境的综合评价与管理、水产养殖业的可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与分析

2006年11月在桑沟湾布设8个站位采集表层沉积物样品(图1)。表层沉积物用抓斗式采泥器采集,取表层0~5 cm泥样封存于双层聚乙烯袋内,置于装有冰块的泡沫箱中,带回实验室后冷冻保存。在实验室中将样品解冻混匀后,60℃烘箱内烘48 h,用玛瑙研钵研碎后过80目筛,封存于双层聚乙烯袋中置于干燥器中备用。Cu、Zn、Pb、Cd采用火焰原子吸收分光光度法,As采用氢化物-原子吸收分光光度法,Hg采用冷原子吸收光度法,具体操作参照《海洋监测规范》^[15]。

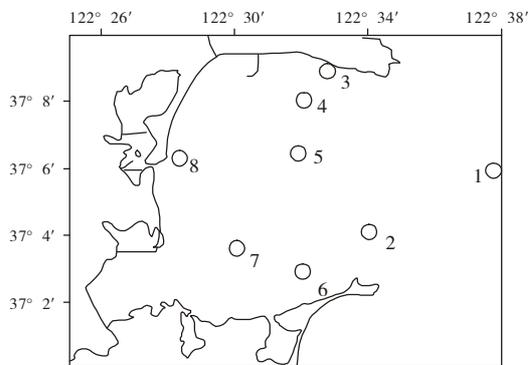


图1 调查海区及采样点

Figure 1 Area of survey and sampling sites

1.2 重金属潜在生态危害评价

近年来,国际上许多科学家从沉积学角度提出了多种重金属污染评价方法,主要包括地质累积指数法(Index of Geoaccumulation)^[16]、污染负荷指数法(The Pollution Load Index)^[17]、回归过量分析法(Regression Excessive Analyse)^[18]、潜在生态危害指数法(The Potential Ecological Risk Index)^[19]等。经过比较分析,本文选用瑞典科学家 Hakanson 提出的潜在生态危害指数法进行重金属生态危害评价,该方法利用沉积物中

重金属相对于工业化以前沉积物的最高浓度背景值的污染程度及相应重金属的生态毒性系数进行加权求和,得到生态危害指数,特点在于从重金属的生物毒性角度出发,不仅反映了某一特定环境中的每种污染物的影响,而且也反映了多种污染物的综合影响,并且用定量的方法划分出潜在生态危害的程度。由于 Hakanson 提出的污染系数和生态风险指数 RI 的划分是基于8个参数(PCB、Hg、Cd、As、Pb、Cu、Cr和Zn),而本次的评价参数不含PCB,且研究的重金属为6个(Cu、Zn、Pb、Cd、Hg、As),因此,根据生态风险指数的控制因素,对沉积物重金属生态危害程度的划分标准进行适当调整(表1)^[20]。根据这一方法,某一区域沉积物中第*i*种重金属的单项潜在生态危害系数 E_r^i 及沉积物中多种重金属的综合指数 RI 可分别表示为:

$$E_r^i = T_r^i C_f^i = T_r^i C_s^i / C_n^i$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n T_r^i C_f^i = \sum_{i=1}^n T_r^i C_s^i / C_n^i$$

式中: C_f^i 为第*i*种重金属的污染系数, C_s^i 为第*i*种重金属实测浓度, C_n^i 为第*i*种重金属的参照值,采用工业化以前沉积物中重金属的背景值。 T_r^i 为重金属*i*的毒性系数,它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,有关重金属的毒性系数见表2^[21]。

表1 沉积物重金属生态危害程度的划分标准

Table 1 Classification for the ecological risk of heavy metals in sediments

污染系数	单项潜在生态危害系数 E_r^i 和综合指数RI	污染程度
$C_f^i < 1$	$E_r^i < 30$ or $RI < 110$	轻微的生态危害
$1 \leq C_f^i < 3$	$30 \leq E_r^i < 60$ or $110 \leq RI < 220$	中等的生态危害
$3 \leq C_f^i < 6$	$60 \leq E_r^i < 120$ or $220 \leq RI < 440$	强的生态危害
$C_f^i \geq 6$	$120 \leq E_r^i < 240$ or $RI \geq 440$	很强的生态危害
	$E_r^i \geq 240$	极强的生态危害

表2 重金属的参照值(C_n^i)和毒性系数(T_r^i)

Table 2 Reference values(C_n^i) and toxicity coefficient(T_r^i) of heavy metals

金属元素	Cu	Zn	Pb	Cd	Hg	As
$C_n^i / \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	30	80	25	0.50	0.25	15
T_r^i	5	1	5	30	40	10

2 结果与讨论

2.1 沉积物中重金属的含量与分布

桑沟湾表层沉积物中重金属的含量及污染系数

表 3 桑沟湾表层沉积物中重金属的含量和污染系数

Table 3 Heavy metal contents and accumulating coefficients in surface sediments of Sungo Bay

采样点	Cu		Zn		Pb		Cd		Hg		As	
	含量 /mg·kg ⁻¹	污染 系数										
1	10.09	0.34	43.87	0.55	10.87	0.43	0.39	0.78	0.02	0.08	5.42	0.36
2	12.98	0.43	50.48	0.63	10.58	0.42	0.48	0.96	0.02	0.08	5.61	0.37
3	8.03	0.27	35.33	0.44	8.57	0.34	0.54	1.08	0.01	0.04	5.87	0.39
4	12.87	0.43	49.01	0.61	13.37	0.53	0.50	1.00	0.02	0.06	7.09	0.47
5	11.39	0.38	41.98	0.52	9.80	0.39	0.23	0.46	0.02	0.06	4.44	0.30
6	15.13	0.50	47.46	0.59	14.79	0.59	0.34	0.68	0.02	0.08	6.71	0.45
7	14.90	0.50	55.87	0.70	14.90	0.60	0.37	0.74	0.02	0.08	9.12	0.61
8	17.50	0.58	47.43	0.59	11.66	0.47	0.39	0.78	0.01	0.05	4.76	0.32
平均值	12.86± 3.02	0.43± 0.10	46.43± 6.14	0.58± 0.08	11.82± 2.32	0.47± 0.09	0.41± 0.10	0.81± 0.20	0.02± 0.00	0.07± 0.02	6.13± 1.50	0.41± 0.10

见表 3。从表 3 可看出,桑沟湾表层沉积物中 Cu 的平均含量为 $12.86 \pm 3.02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; Zn 的平均含量为 $46.43 \pm 6.14 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; Pb 的平均含量 $11.82 \pm 2.32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; Cd 平均含量 $0.41 \pm 0.10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; Hg 的平均含量为 $0.02 \pm 0.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; As 的平均含量为 $6.13 \pm 1.50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

从重金属的污染系数来看,桑沟湾表层沉积物中 Cu、Zn、Pb、Cd、Hg、As 的平均污染系数均小于 1,表明研究海域没有受到这 6 种重金属的污染。其中, Cd 的污染程度最大,平均污染系数为 0.81;其次是 Zn 和 Pb,平均污染系数分别为 0.58 和 0.47;污染程度较低的依次是 Cu、As、Hg,平均污染系数分别为 0.43, 0.41, 0.07。重金属污染程度由高到低依次为 Cd、Zn、Pb、Cu、As、Hg。沉积物重金属含量的平面分布见图 2。由图 2 可以看出,沉积物中 Cu、Pb、Zn 3 种重金属的分布特征基本相似,高值区与低值区也大致吻合,总体特征是从湾内向湾外逐渐减少,并分别呈由东北向西南递增的趋势;Cd 在湾中部含量最低,

并向四周呈辐射状增高的趋势,最高值出现在近北岸的湾底区域;Hg 的分布特征呈现由北向南递增的趋势,等值线较为密集,等值线的走向基本与南、北两岸岸线平行,最高值出现在南岸湾底区域;As 的分布特征是从湾外向湾内逐渐递增,并在近北岸湾底和近南岸湾底形成两个高值区。6 种重金属的分布趋势表明桑沟湾表层沉积物的重金属主要是受陆源污染物的影响。

2.2 潜在生态危害评价结果

桑沟湾表层沉积物的单项潜在生态危害系数和综合指数的评价结果见表 4。

从表 4 可以看出,除 Cd 在 3、4 号站属于中等的生态危害外,6 种重金属的 E_r^i 值均小于其轻微生态危害的划分标准值,说明桑沟湾沉积物重金属的潜在生态危害轻微。其中, Cd 的 E_r^i 值明显大于其他重金属的 E_r^i 值,顺序由大到小依次为 Cd、As、Hg、Pb、Cu、Zn。其中 As 的 E_r^i 值比 Cd 的 E_r^i 值小,约是 Cd 的 1/6, Hg 的 E_r^i 值约是 Cd 的 1/9, Pb 的 E_r^i 值约是 Cd 的 1/10,

表 4 桑沟湾沉积物中重金属的单项潜在生态危害系数(E_r^i)和综合指数(RI)Table 4 Potential ecological risk factors(E_r^i)and risk indices(RI)of heavy metals in surface sediments of Sungo Bay

站位	E_r^i						RI
	Cu	Zn	Pb	Cd	Hg	As	
1	1.68	0.55	2.17	23.40	3.20	3.61	34.62
2	2.16	0.63	2.12	28.80	3.20	3.74	40.65
3	1.34	0.44	1.71	32.40	1.76	3.91	41.57
4	2.15	0.61	2.67	30.00	2.40	4.73	42.56
5	1.90	0.52	1.96	13.80	2.40	2.96	23.54
6	2.52	0.59	2.96	20.40	3.36	4.47	34.31
7	2.48	0.70	2.98	22.20	3.36	6.08	37.80
8	2.92	0.59	2.33	23.40	1.92	3.17	34.33
平均值	2.14	0.58	2.36	24.30	2.70	4.09	36.17

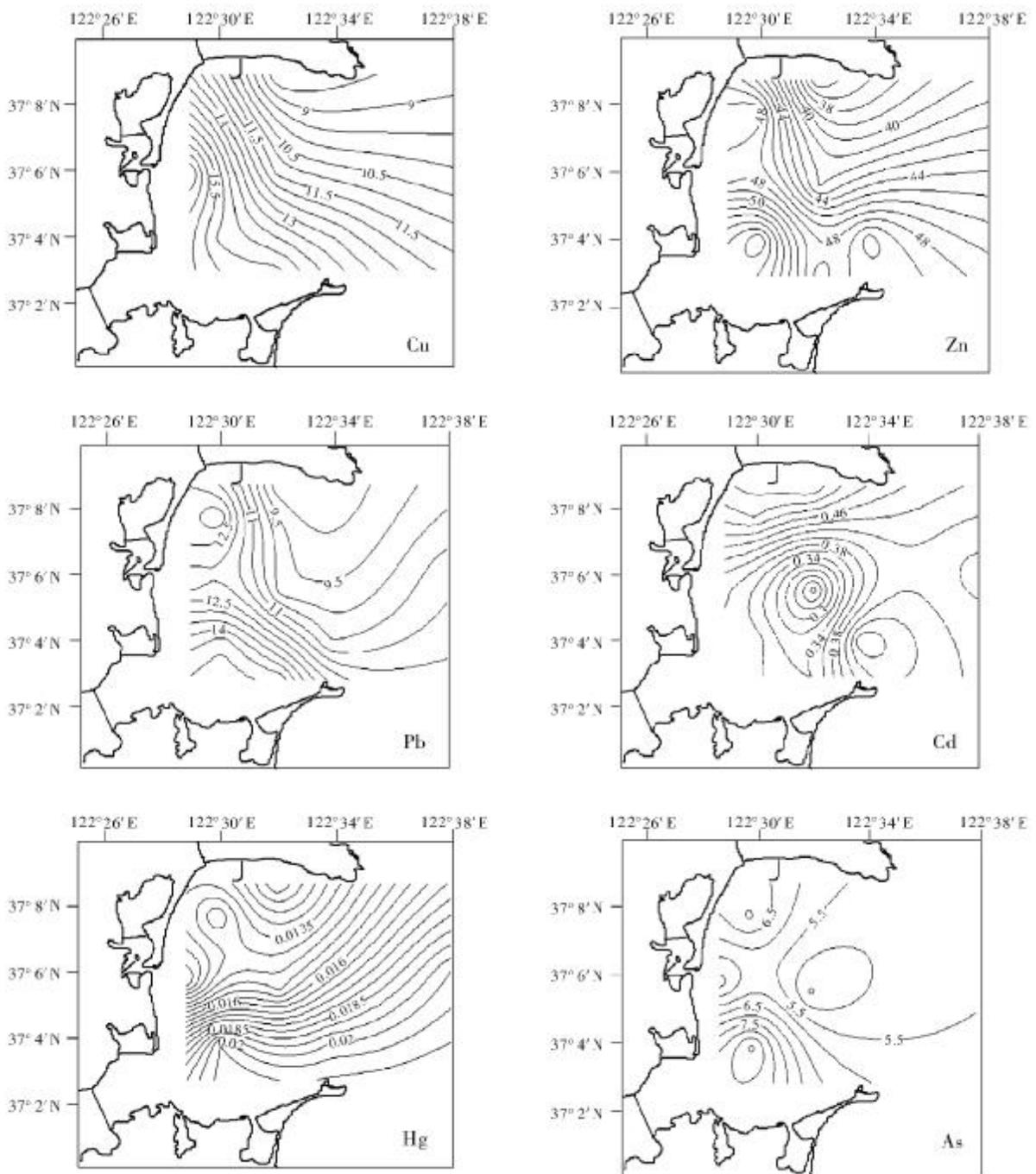


图2 桑沟湾表层沉积物中重金属含量水平分布/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

Figure 2 Horizontal distribution of heavy metal content in surface sediments of Sungo Bay / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

Cu的 E_i^p 值约是Cd的1/11,Zn的 E_i^p 值约是Cd的1/42,表明Cd对 E_i^p 值的影响程度大大高于其他重金属。由多个重金属的综合指数RI看,8个站位的RI值均小于110,表明桑沟湾重金属的潜在生态危害轻微。

从上述分析结果可知,无论是从单个重金属的单项潜在生态危害系数(E_i^p)来评价,还是从多个重金属的综合指数(RI)来评价,桑沟湾沉积物重金属的潜在

生态危害轻微,重金属元素的污染程度顺序是Cd > As > Hg > Pb > Cu > Zn,对桑沟湾生态环境具有潜在影响的重金属元素主要是Cd。

3 结论

(1) 桑沟湾表层沉积物中Cu、Zn、Pb、Cd、Hg、As的污染程度大小顺序依次为Cd>Zn>Pb>Cu>As>Hg。

(2)重金属的分布特征表现为:Cu、Zn、Pb、Hg 从西南向的湾底向东北向的湾外逐渐减少;Cd 在湾中部含量最低,并向四周呈辐射状增高;As 呈现从湾外向湾内递增的趋势。

(3)单项潜在生态危害系数和综合指数的评价结果表明,桑沟湾表层沉积物中重金属的潜在生态危害轻微,对桑沟湾生态环境具有潜在影响的重金属元素主要是 Cd。

参考文献:

- [1] 苏秋克, 祁士华, 蒋敬业. 武汉城市湖泊汞的环境地球化学评价[J]. 地球化学, 2006, 35(3): 265-270.
- [2] 范成新, 朱育新. 太湖宜溧河水系沉积物的重金属污染特征[J]. 湖泊科学, 2002, 14(3): 235-241.
- [3] 崔毅, 辛福言, 马绍赛, 等. 乳山湾沉积物重金属污染及其生态危害评价[J]. 中国水产科学, 2005, 12(1): 83-90.
- [4] 贾振邦, 梁涛, 林健枝, 等. 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, 1997, 33(4): 485-492.
- [5] 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.
- [6] 丘耀文, 朱良生. 海陵湾沉积物中重金属污染及其潜在生态危害[J]. 海洋环境科学, 2004, 23(1): 22-24.
- [7] 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.
- [8] Srinivasa R M, Shaik B, Sravan K, et al. Distribution, enrichment and accumulation of heavy metals in coastal sediments of Alang Sosiya ship scrapping yard, India [J]. Marine Pollution Bulletin, 2004, 48: 1055-1059.
- [9] Carolina M, Carlos M, Manuel P, et al. Preliminary investigation on the enrichment of heavy metals in marine sediments originated from intensive aquaculture effluents [J]. Aquaculture, 2006, 254: 317-325.
- [10] 张学雷, 朱明远, 陈尚, 等. 桑沟湾和胶州湾沉积物耗氧率研究[J]. 海洋科学进展, 2006, 24(1): 91-96.
- [11] 徐林梅, 孙耀, 石晓勇, 等. 桑沟湾养殖海域沉积物中磷的溶出动力学特性[J]. 海洋水产研究, 2006, 27(4): 66-70.
- [12] 武晋宣, 孙耀, 张前前, 等. 桑沟湾养殖水域沉积物中营养要素 (TOC、TN 和 TP) 溶出动力学特性[J]. 海洋水产研究, 2005, 26(2): 62-67.
- [13] 蔡立胜, 方建光, 董双林. 桑沟湾养殖海区沉积物-海水界面氮、磷营养盐的通量[J]. 海洋水产研究, 2004, 25(4): 57-64.
- [14] 张学雷, 朱明远, 汤庭耀, 等. 桑沟湾和胶州湾夏季的沉积物-水界面营养盐通量研究[J]. 海洋环境科学, 2004, 23(1): 1-4.
- [15] GB17378.5-1998, 海洋监测规范-沉积物分析部分[S].
- [16] Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of Rhine River [J]. Geojournal, 1969, 2: 108-118.
- [17] 贾振邦, 周华. 应用污染负荷指数法评价太子河沉积物中重金属污染[J]. 环境科技, 1992, 16(6): 39-42.
- [18] Hilton J, Davison W, Ochsnein U. A mathematical model for analysis of sediment coke data [J]. Geology, 1985, 48: 281-291.
- [19] Hakanson L. A Ecological risk index for aquatic pollution control, a sediment approach [J]. Water Research, 1980, 14: 977-985.
- [20] 刘文新, 栾兆坤, 汤鸿霄. 乐安江沉积物中金属污染的潜在生态风险评价[J]. 生态学报, 1999, 19(2): 206-211.
- [21] 刘芳文, 颜文, 王文质, 等. 珠江口沉积物重金属污染及其潜在生态危害评价[J]. 海洋环境科学, 2002, 21(3): 34-38.