

珠江 (广州河段) 表层沉积物中重金属的生态风险研究

牛红义^{1,2} 吴群河¹ 陈新庚¹

(11 中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275; 21 广州市环境保护科学研究院, 广州 510620)

摘要: 随着广州市截污工程的实施, 珠江 (广州河段) 外源污染得到有效控制后, 沉积物内源污染将成为影响河流水质的重要因素。我们测定了珠江 (广州河段) 沉积物中 Cu、Pb、Zn、Cr、Cd、Hg 和 As 7 种重金属的浓度, 研究了它们的分布特征和潜在生态风险。结果表明: 在主干河流道的顺流断面中, 各种重金属元素整体上表现出明显的倒 W 型分布。在各内河涌的各监测断面中, 花地涌沉积物中重金属浓度最高, 乌涌最低, 其余各河涌居中。各种重金属元素的空间分布特征基本相似, 除了 Hg 与 Cd、Cr、As 之外, 其他各元素之间均呈现较明显的正相关关系, 尤其是 Cr 和 Cd、Cu 和 Cd、Cr 和 Cu 之间的相关性显著, 表明这些重金属元素在沉积物中的浓度具有共同变化的趋势。潜在生态危害指数法的评价结果显示, 7 种重金属元素的生态危害系数的大小顺序为: Hg > Cd > Cu > As > Pb > Zn > Cr, 其中 Hg 是最主要的生态风险因子。对单个重金属的潜在生态危害系数 (E_r^i) 和多个重金属的潜在生态危害指数 (RI) 的分析, 生态风险最大的断面是 5[#] (黄歧)、6[#] (黄沙)、16[#] (花地涌北出口)、7[#] (横滘) 和 14[#] (增埗桥)。

关键词: 沉积物; 重金属; 生态风险

中图分类号: X522 **文献标识码:** A **文章编号:** 100023207(2008)062080209

沉积物是水体的重要组成部分。在水体-沉积物系统中, 沉积物既是重金属的汇集地, 又是对水质有潜在影响的次生污染源^{[1]~[7]}。在环境条件改变时, 束缚在沉积物中的重金属可被释放出来, 造成二次污染^[8]。重金属是重要的污染物, 可在生物体内富集, 成为持久性污染物, 通过食物链影响人体健康^{[9]~[13]}。许多研究表明, 重金属 (包括类金属元素) 与生物大分子基团和遗传物质的相互作用可导致多器官的畸变、突变和癌变效应^{[14]~[16]}。当有毒金属离子与生物大分子上的活性点位或非活性点位结合后, 可以改变生物大分子正常的生理和代谢功能, 使生物体表现为中毒现象甚至死亡。受重金属污染的水体, 底泥中的重金属的浓度比水相中高得多, 常常得到积累, 并表现出明显的分布规律性。沉积物可以反映水系状况, 能明显地反映水体被重金属污染的程度, 是水环境重金属污染的指示剂^{[17]~[20]}。因此, 河流沉积物中重金属污染的研究一直是备受关

注的焦点^[21]。

近些年来, 出现了众多的重金属污染评价方法, 如地累积指数法 (Index of Geoaccumulation, Miller, 1969)^[22]、脸谱图法 (Facegraph, Chernoff, H, 1973)^[23]、污染负荷指数法 (The Pollution Load Index, Tomlison, 1980)、潜在生态危害指数法 (The Potential Ecological Risk Index, Hakanson, 1980)^[24]、回归过量分析法 (Excess after Regression Analysis, Hilton, 1985)^[25]、SEM/AVS 值法 (Di Toro and Ankley, 1990)^{[26]~[30]} 等。其中, 因潜在生态危害指数法充分考虑了重金属的生物毒性与生态风险而得到了广泛的应用。刘芳文等^[31]、王增焕等^[32]、黄向青等^[33] 曾对珠江口沉积物中的重金属进行了生态风险评价, 而对于受城市排污影响严重的珠江 (广州河段) 还罕见报道。本文主要在沉积物重金属浓度监测的基础上, 利用潜在生态危害指数法对珠江 (广州河段) 表层沉积物中重金属的生态风险

收稿日期: 20062092 01; 修订日期: 2007208219

基金项目: 广东省自然科学基金重点项目 (项目编号: 031549) 资助

作者简介: 牛红义 (1979), 男, 汉族, 河南省偃师市人; 博士研究生; 主要从事环境评价与环境规划研究工作。E-mail: niuhongyi2005@163.com

通讯作者: 吴群河 (1958), 男, 广东广州人; 副教授, 硕士; E-mail: ceswqh@zsu.edu.cn

特征进行研究,为广州市的水环境治理提供理论依据。

1 材料与方法

111 布点与采样 珠江广州河段(113b30c? 30cE, 23b10c? 10dN),起于鸦岗,经广州市流至黄埔新港。该河段属感潮河段,在枯水期涨潮时,珠江口盐水楔可以到达本河段,干旱年份盐水楔可

到达广州市区。本次监测对象包括珠江广州河段及市区主要内河涌的约 10cm 深的表层底泥。考虑到珠江(广州河段)水文水质特点、河道走向和弯道、支流和障碍物的位置、沿程污染源分布以及河道中污染物的回荡等因素,我们监测了雅岗、硬颈海等 23 个表层底泥断面(图 1)。根据各个监测断面的河宽,在各断面上布设若干采样点,各监测断面的名称、编号及采样点的数量(表 1)。

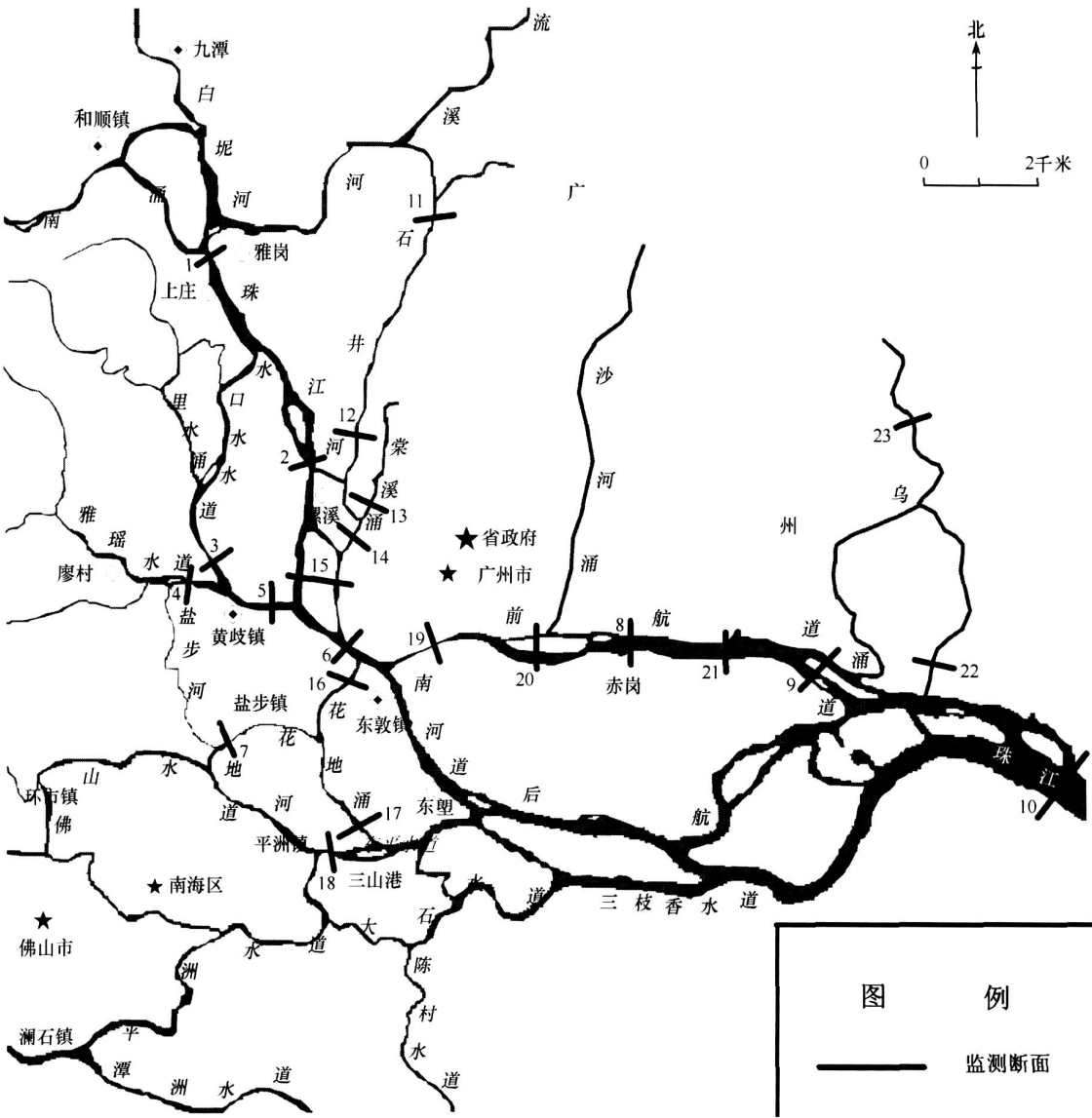


图 1 监测断面分布图
Fig11 Distribution of sampling cross sections in sediment

表 1 监测断面的编号和名称
Tabl 1 The number and names of the sampling cross sections

编号 Sequence number	监测断面名称 Name of cross sections	采样点数 Number of sites	编号 Sequence number	监测断面名称 Name of cross sections	采样点数 Number of sites
1	雅岗水文站	5	13	棠溪涌桥	3
2	硬颈海	5	14	增埗桥	3
3	黄歧(水口水)	4	15	珠江大桥	5
4	雅瑶大桥	4	16	花地涌北出口	3
5	黄歧	4	17	花地涌南出口	5
6	黄沙	3	18	平洲	5
7	横滘	5	19	海珠桥	3
8	华南大桥	3	20	中大码头	5
9	长洲	5	21	琶洲大桥	3
10	黄浦新港	3	22	石岗新村	4
11	石井公路桥	3	23	珠村	4
12	石井河南出口	3			

112 分析测定方法 本次采样于 2004 年 7 月 11 至 12 日进行。采用抓斗式采样器对表层沉积物采样,并立即进行封存。在测定前,对风干样进行研磨,使之过 100 目的尼龙筛。采取 5 原子吸收光谱及其在环境分析中的应用 6^[34]中提供的分析测定方法测量 Cu、Pb、Zn、Cr、Cd、Hg 和 As 的浓度(表 2)。其中,采用 HNO₃-HClO₄-HF 分解法对沉积物进行消化,以测定 Cu、Pb、Zn、Cr 和 Cd 浓度;采用 HNO₃-H₂O₂ 分解法对沉积物进行消化,以测定 Hg 的浓度;采用 HNO₃-HClO₄-H₂SO₄ 分解法对沉积物进行消化,以测定 As 的浓度。消解所称量的样品重均为

01250g。分析中所使用的大部分试剂均保证使用优级纯,所使用的蒸馏水均为高纯水,采样瓶和实验用的玻璃器皿均用 10% 的硝酸浸泡 24h 以上,使用前用高纯水冲洗干净。每批样品均做二个以上的空白实验和 20% 的平行样品,并采用中国环境监测总站研制的环境标准物质(土壤 ESS23)进行质量控制,结果表明,大多数金属的回收率均在 85% 上下。对每个监测断面上各个采样点的样品分别进行风干、碾磨和测定,以各个样品的浓度平均值作为所在断面的重金属浓度值。

表 2 分析项目
Tabl 2 Parameters of analyzing

分析项目 Item	测定方法 Method of determination	仪器名称及型号 Instrument
Cu、Pb、Zn、Cr	火焰原子吸收法	原子吸收分光光度计(日立 Z25000) 双道原子荧光光度计(AFS2820)
Cd	石墨炉原子吸收法	
Hg	原子荧光光谱法	
As	原子荧光光谱法	

113 生态风险评价方法 潜在生态危害指数(RI)的计算公式^[24]如下:

$$E_r^i = T_r^i \# C_r^i$$
$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n T_r^i \# C_r^i = \sum_{i=1}^n T_r^i \# C_{\text{表层}}^i / C_n^i$$

式中,RI 为多种重金属潜在生态危害指数(The potential ecological risk index);E_rⁱ 值为单个重金属的潜在生态危害系数(The potential ecological risk factor);T_rⁱ 为各重金属的毒性响应系数(The toxic response factor);C_rⁱ 为某一重金属的污染系数(The

factor of contamination);C_{表层}ⁱ 为表层沉积物重金属浓度实测值;C_nⁱ 为计算所需要的参比值。

114 统计分析方法 采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS11.0 统计软件进行数据分析,应用矩阵分析方法对重金属分布的相关性进行分析。

2 结果与讨论

211 沉积物中重金属浓度沿程分布特征 23 个断面(共 90 个样本)7 种重金属浓度的变化范围及其平均值(表 3)。为了分析研究河段沉积物中重金

属元素的沿程分布特征, 本文根据各监测断面所处的位置, 将其分为主干流河道和内河涌两部分进行分析。

表 3 珠江(广州河段)表层沉积物中重金属浓度统计值								
Tabl 3 Contents of heavy metals in sediment from the Guangzhou section of the Pearl River (mg/kg)								
项目 Item	Hg	Cd	As	Cr	Pb	Cu	Zn	
1#	01.04	01.50	241.7	61.7	611.9	1011.8	1721.6	
2#	01.20	11.47	271.8	921.3	781.6	2901.8	3751.3	
3#	01.58	21.13	271.1	1741.0	951.2	5301.5	4621.0	
4#	01.38	21.48	301.1	1161.7	911.0	6091.7	3651.6	
5#	11.56	21.53	311.7	1251.8	1181.4	5881.2	4911.6	
6#	11.73	21.70	311.8	1511.7	1651.8	5941.3	4721.3	
7#	01.57	21.70	321.5	1621.0	1621.7	6721.6	4261.6	
8#	01.17	11.74	231.0	461.6	831.7	2741.9	3831.2	
9#	01.47	11.15	231.1	501.7	761.9	2121.6	3241.1	
10#	01.06	01.75	191.1	101.9	641.0	1191.4	2621.7	
11#	01.26	11.09	141.2	411.8	821.6	1171.9	3801.7	
12#	01.75	21.17	201.5	1581.2	1091.4	4191.9	3431.0	
13#	01.28	11.20	141.7	1471.6	521.7	2591.2	3461.7	
14#	11.21	11.06	231.5	691.8	1151.7	3011.6	3521.9	
15#	01.29	11.39	271.9	1201.7	1131.1	3221.9	4331.4	
16#	01.57	41.15	341.6	2151.5	2191.6	8291.4	5601.7	
17#	01.13	21.24	271.2	1331.9	991.4	4371.3	4541.4	
18#	01.26	21.18	291.5	1431.5	1251.5	3151.2	4111.0	
19#	01.02	01.21	261.9	81.3	911.4	1691.5	3021.5	
20#	01.42	21.01	261.3	651.3	941.5	2421.6	4011.9	
21#	01.43	11.80	291.5	551.9	1081.9	1801.6	3751.5	
22#	01.75	01.73	211.2	271.8	1041.2	2481.1	4881.4	
23#	01.06	11.07	71.6	141.7	431.8	1651.0	2301.1	
浓度范围 Range	01.02~11.73	01.21~41.15	71.6~341.6	61.7~2151.5	431.8~2191.6	1011.8~8291.4	1721.6~5601.7	
平均浓度 Average	01.49	11.72	251.0	931.1	1021.6	3481.0	3831.4	

主干流河道沉积物中重金属分布特征 主干流河道采样断面从上游到下游依次为: 1#、2#、15#、6#、19#、20#、8#、21#、9#和 10#监测断面。主干河道 Cu、Pb、Zn、Cr 四种重金属浓度的沿程分布情况(图 2), 主干河道 Cd、Hg、As 三种重金属浓度的沿程分布情况(图 3)。

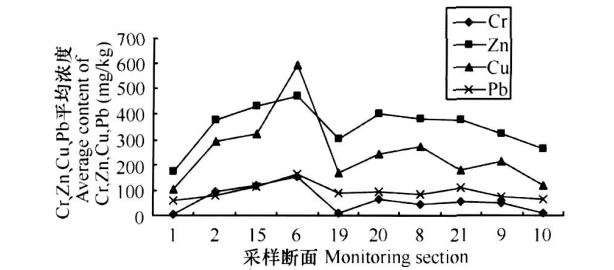


图 2 主干河道 Cu、Pb、Zn、Cr 的沿程分布
Fig 2 Longitudinal distribution of Cu, Pb, Zn and Cr in the trunk stream

图 2和图 3显示, 在主干流河道的顺流断面中, 各种重金属元素的分布呈不规则的波状起伏, 但都

是在中游的 6#断面出现最高值, 在最上游的 1#断面、最下游的 10#断面和中游的 19#断面(As为 8#断面)出现明显的低值, 整体上表现出明显的倒 W 型分布。在中游的 6#断面出现最高值, 这与该断面靠近人口集中的城区、接收了较多的水污染物有关; 在 1#断面出现低值区, 主要是因为 1#断面位于广州市的饮用水源区, 污染源很少; 在 10#断面出现低值区, 主要是因为 10#断面已远离城区污染源, 并且河

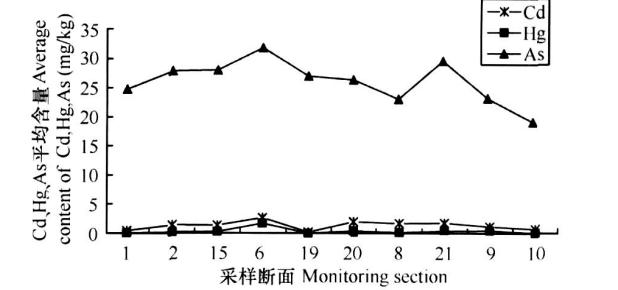


图 3 主干河道 Cd、Hg、As 的沿程分布
Fig 3 Longitudinal distribution of Cd, Hg and As in the trunk stream

流流量较大,致使污染物含量较低。

主要内河涌沉积物中重金属分布特征 内河涌包括:石井河(11[#]和12[#])、棠溪涌(13[#])、增埗河(14[#])、花地涌(7[#]、16[#]和17[#])、东平水道(18[#])、乌涌(22[#]和23[#])、水口水水道(3[#]、5[#])、雅瑶水道(4[#])。主要内河涌Cu、Pb、Zn、Cr四种重金属浓度的分布情况(图4)。内河涌Cd、Hg、As三种重金属浓度的分布情况(图5)。

图4和图5显示,在内河涌的各监测断面中,除Hg的最高值出现在水口水水道的5[#]断面之外,其他6种元素浓度的最高值均出现在花地涌的16[#]断面,这与其接收了来自上游佛山市排放的大量生活和工业污水有关。而它们的最低值,除Cu出现在石井河的11[#]断面外,其余6种元素的最低值都出现在乌涌的23[#]和22[#]断面,这主要是因为其远离城区,受到的污染较小。在各条河涌中,花地涌重金属浓度

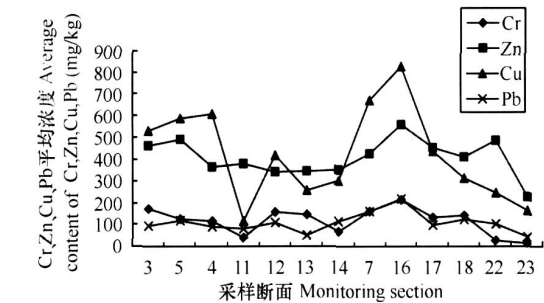


图4 内河涌Cu、Pb、Zn、Cr的分布

Fig 4 Longitudinal distribution of Cu, Pb, Zn and Cr in the creeks

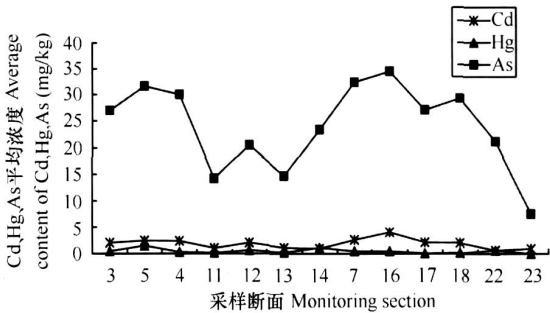


图5 内河涌Cd、Hg、As的分布

Fig 5 Longitudinal distribution of Cd, Hg and As in the creek

最高,乌涌最低,其余各河涌居中。

综上所述,对干流河道和内河涌重金属分布特征的分析表明,这7种污染元素的分布特征基本相似,高值区和低值区大致吻合。

212 沉积物重金属浓度间的相关性分析

经差异显著性测定,结果表明主流和内河涌沉积物中7种重金属浓度之间无显著差异(t检验,双尾, $p>0.05$),因此可以将两者数据综合起来进行总体相关性分析。各重金属浓度的相关系数矩阵(表4)。从中可以看出,除Hg与Cd、Cr、As之间不呈现相关性之外,其他各种元素之间均呈现明显的正相关关系,特别是Cr和Cd、Cu和Cd、Cr和Cu的相关系数都在0.8以上,属于高度正相关。表明这些重金属元素在沉积物中的浓度具有共同变化的趋势。

表4 珠江(广州河段)沉积物重金属浓度相关系数矩阵							
Tabl 4 Correlation coefficient matrix of the mass fractions of heavy metals in sediment from the Guangzhou section of the Pearl R river (n=23)							
污染物 Element	Cd	Cr	Zn	Cu	Pb	Hg	As
Cd	1						
Cr	0.1837*	1					
Zn	0.1711**	0.1687*	1				
Cu	0.1894**	0.1849*	0.1716**	1			
Pb	0.1779**	0.1666*	0.1742**	0.1782**	1		
Hg	)	)	0.1516*	0.1519*	0.1527*	1	
As	0.1621**	0.1522*	0.1580**	0.1663**	0.1728*	)	1

注: /) 0表示 0.05显著性水平下不显著相关; * $p<0.05$ ** $p<0.01$
Note) $p>0.05$ * $p<0.05$ ** $p<0.01$

213 沉积物中重金属生态风险分析

本文选用 Hakanson 于 1980年提出的潜生态危害指数法(简称 RI 值)^[24]进行评价。该方法由陈静生等^[35]在太子河、柴河等沉积物的评价中进行了应用,并取得了良好的效果。现已应用于世界各地多条河流的生态危害影响评价^[35]。该方法代表了国际上有关沉积物重金属研究的先进方法,它不仅

反映了某一特定环境中的各种污染物的影响,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。本研究中采用工业化以前全球沉积物重金属的最高背景值为参比值(表5);各重金属的毒性响应系数(T_r^i ,表5);沉积物生态危害系数(E_r^i)及生态危害指数(RI)与污染程度的关系(表6)。

表 5 重金属的参比值 (C_n^i) 和毒性系数 (T_r^i) ^[24]

Tabl 5 Reference values(C_n^i) and toxicity factor (T_r^i) of heavy metals

元素 Element	Cd	Cr	Zn	Cu	Pb	Hg	As
$C_n^i (10^{-6})$	1	90	175	50	70	01.25	15
T_r^i	30	2	1	5	5	40	10

表 6 生态危害系数、指数与危害程度分级

Tabl 6 Logical risk degrees corresponding to the potential ecological risk index and factor

生态危害程度 Degree of ecological risk	轻微 Low	中等 Moderate	强 Considerable	很强 High	极强 Very high
E_r^i	< 40	40) 80	80) 160	160) 320	\ 320
RI	< 150	150) 300	300) 600	\ 600	

按照上述沉积物重金属潜在生态危害指数的计算公式及确定生态危害程度分级的各项指标, 可计算出自雅岗水文站至珠村的珠江 (广州河段) 各个监测断面沉积物的潜在生态危害指数及分级情况 (表 7)。

表 7 各监测断面沉积物重金属潜在生态危害系数、指数及风险分级

Tabl 7 Potential ecological risk factor, index and relative grade of heavy metals in the sediment for each site

采样点 Site		E _r ⁱ							RI	风险等级
		Cd	Cr	Zn	Cu	Pb	Hg	As		Degree of ecological risk
主干流河道 Trunk stream	1 [#]	151.0	01.1	11.0	101.2	41.4	61.4	161.5	531.6	轻微
	2 [#]	441.1	21.1	21.1	291.1	51.6	321.0	181.5	1331.5	轻微
	15 [#]	411.7	21.7	21.5	321.3	81.1	461.4	181.6	1521.3	中等
	6 [#]	811.0	31.4	21.7	591.4	111.8	2761.8	211.2	4561.3	强
	19 [#]	61.3	01.2	11.7	171.0	61.5	31.2	171.9	521.8	轻微
	20 [#]	601.3	11.5	21.3	241.3	61.8	671.2	171.5	1791.9	中等
	8 [#]	521.2	11.0	21.2	271.5	61.0	271.2	151.3	1311.4	轻微
	21 [#]	541.0	11.2	21.1	181.1	71.8	681.8	191.7	1711.7	中等
	9 [#]	341.5	11.1	11.9	211.3	51.5	751.2	151.4	1541.9	中等
	10 [#]	221.5	01.2	11.5	111.9	41.6	91.6	121.7	631.0	轻微
内河涌 Creeks	3 [#]	631.9	31.9	21.6	531.1	61.8	921.8	181.1	2411.2	中等
	4 [#]	741.4	21.6	21.1	611.0	61.5	601.8	201.1	2271.5	中等
	5 [#]	751.9	21.8	21.8	581.8	81.5	2491.6	211.1	4191.5	强
	7 [#]	811.0	31.6	21.4	671.3	111.6	911.2	211.7	2781.8	中等
	11 [#]	321.7	01.9	21.2	111.8	51.9	411.6	91.5	1041.6	轻微
	12 [#]	651.1	31.5	21.0	421.0	71.8	1201.0	131.7	2541.1	中等
	13 [#]	361.0	31.3	21.0	251.9	31.8	441.8	91.8	1251.6	轻微
	14 [#]	311.8	11.6	21.0	301.2	81.3	1931.6	151.7	2831.2	中等
	16 [#]	1241.5	41.8	31.2	821.9	151.7	911.2	231.1	3451.4	强
	17 [#]	671.2	31.0	21.6	431.7	71.1	201.8	181.1	1621.5	中等
	18 [#]	651.4	31.2	21.3	311.5	91.0	411.6	191.7	1721.7	中等
	22 [#]	211.9	01.6	21.8	241.8	71.4	1201.0	141.1	1911.6	中等
	23 [#]	321.1	01.3	11.3	161.5	31.1	91.6	51.1	681.0	轻微
平均值 Average		511.5	21.1	21.2	341.8	71.3	771.8	161.7	1921.4	

从表 7 可以看出, 珠江 (广州河段) 表层沉积物中 7 种重金属元素的潜在生态危害系数的大小顺序为: Hg> Cd> Cu> As> Pb> Zn> Cr, 其平均值分别为 771.8、511.5、341.8、161.7、71.3、21.2、21.1。Hg 是最主要的生态风险因子, 在 5[#]、6[#] 和 14[#] 监测断面, 其潜在生态危害系数都超过了 160, 达到了很强的生态危害级别; 在 3[#]、7[#]、12[#]、16[#] 和 22[#] 监测断面, 其潜在生态危害系数都超过了 80, 达到了强的生态危害级别; 在 4[#]、9[#]、11[#]、13[#]、15[#]、18[#]、20[#] 和 21[#] 监测断面, 其潜在生态危害系数都超过了 40, 也达到了中等的生态危害级别; 而处于轻微生态危害级别的监测断面数量还不到总数量的三分之一。

除了 Hg 之外, Cd 的生态危害系数也比较高。在 6[#]、7[#]和 16[#]监测断面, 其生态危害系数都超过了 80, 属于强的生态危害级别。另外, 还有 11 个监测断面的生态危害系数在 40) 80 之间, 达到了中等生态危害级别, 数量占总数量近一半。

在 16[#]监测断面, Cu 的生态危害系数超过了 80, 属于强的生态危害级别。另外, 还有 8 个监测断面的生态危害系数在 40) 80 之间, 也达到了中等生态危害级别。所有监测断面的 As、Pb、Zn、Cr 的潜在生态危害系数都没有超过 30, 属于轻微生态危害级别。

对主干流河道生态风险等级的分析, 6[#]断面生态风险等级最高, 达到强的等级。从内河涌生态风险等级来看, 水口水水道和花地涌生态风险等级最高, 达到强的等级。

在所有监测断面中, 潜在生态危害指数 RI > 300 的有 3 个断面, 即 5[#]、6[#]和 16[#], 在生态危害程度上属于强的级别; RI 在 150) 300 之间的有 12 个断面, 在生态危害程度上属于中等级别; 其余的 8 个断面 RI 都小于 150, 在生态危害程度上属于轻微级别。

从上面单个重金属的潜在生态危害系数 (E_i^p) 和多个重金属的潜在生态危害指数 (RI) 的分析来看, 本研究范围内生态风险最大的断面是 5[#] (黄歧)、6[#] (黄沙)、16[#] (花地涌北出口)、7[#] (横滘) 和 14[#] (增埗桥)。其中, 6[#] (黄沙) 断面位于珠江广州河段干流上, 处在广州市老城中心区河段, 接收了较多的城市工业废水和生活污水, 从而导致该断面沉积物中重金属污染比较严重; 5[#] (黄歧) 断面位于水口水水道上, 16[#] (花地涌北出口) 和 7[#] (横滘) 断面位于花地涌上, 这两条内河涌接收了上游佛山市排放的大量污水, 而它们的流量较小, 稀释能力较差, 便使得沉积物中重金属污染严重; 14[#] 断面位于增埗河上, 它的严重污染与其接收了上游石井河的污水有关。

3 结 论

在主干流河道的顺流断面中, 各种重金属元素的分布, 整体上表现出明显的倒 W 型分布特征。在各内河涌的各监测断面中, 花地涌重金属浓度最高, 乌涌最低, 其余各河涌居中。在所研究的 7 种元素中, 除 Hg 与 Cd、Cr、As 之间不呈现相关性之外, 其他各种元素之间均呈现明显的正相关关系。

沉积物中 7 种重金属元素的潜在生态危害系数

的大小顺序为: Hg > Cd > Cu > As > Pb > Zn > Cr。Hg 是最主要的生态风险的贡献因子。本研究范围内生态风险最大的断面是 5[#] (黄歧)、6[#] (黄沙)、16[#] (花地涌北出口)、7[#] (横滘) 和 14[#] (增埗桥)。

参考文献:

- [1] Singh K P, Mohan D, Singh V K, et al. Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti river sediments—a tributary of the Ganges, India [J]. *Journal of Hydrology*, 2005, 312: 14) 27.
- [2] Santos Bermejo J C, Beltrán R, Gómez-Ariza J L. Spatial variations of heavy metals contamination in sediments from Odiel river (Southwest Spain) [J]. *Environment International*, 2003, 29: 69) 77.
- [3] Birch G F, Taylor S E, Mathai C. Small-scale spatial and temporal variance in the concentration of heavy metals in aquatic sediments: a review and some new concepts [J]. *Environmental Pollution*, 2001, 113: 357) 372.
- [4] Li X X, Song J M, Li X G, et al. Geochemical characteristics of nitrogen in the southern Yellow Sea surface sediments [J]. *Journal of Marine Systems*, 2005, 56: 17) 27.
- [5] Shea D. Developing national sediment quality criteria [J]. *Environmental Science & Technology*, 1988, 22: 1256) 1261.
- [6] Von der Heyden C J V, New M G. Sediment chemistry: a history of fine contaminant remediation and an assessment of processes and pollution potential [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2004, 82: 35) 57.
- [7] Gupta G, Karupiah M. Heavy metals in sediments of two Chesapeake Bay tributaries: Wicomico and Pocomoke Rivers [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 1996, 50: 15) 29.
- [8] Segura R, Arancibia V, Zúñiga et al. Distribution of copper, zinc, lead and cadmium concentrations in stream sediments from the Mapocho River in Santiago, Chile [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2006, 91: 71) 80.
- [9] Fan C X, Zhu Y X, Ji Z J, et al. Characteristics of the pollution of heavy metals in the sediments of Yilihe River, Taihu Basin [J]. *Journal of Lake Science*, 2002, 14: 235) 241. [范成新, 朱育新, 吉志军, 等. 太湖宜溧河水系沉积物的重金属污染特性. 湖泊科学, 2002, 14: 235) 241.]
- [10] Sawidis C, Papadopoulos A, Haralambous K J, et al. Sea sediments contaminated with heavy metals: metal speciation and removal [J]. *Water Science and Technology*, 1998, 32: 65) 73.
- [11] Sin S N, Chua H, Lo W, et al. Assessment of heavy metal cations in sediments of Shing Mun River, Hong Kong [J]. *Environment International*, 2001, 26: 297) 301.
- [12] Marchand C, Lallier-Vergès E, Balzer F, et al. Heavy metals distribution in mangrove sediments along the mobile coastline of French Guiana [J]. *Marine Chemistry*, 2006, 98: 1) 17.
- [13] Pekey H. The distribution and sources of heavy metals in Izmit Bay surface sediments affected by a polluted stream [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2006, 52: 1197) 1208.

- [14] Graeme K A, Pollack C V. Heavy metal toxicity, part 1: arsenic and mercury [J]. *Journal of Emergency Medicine*, 1998, 16: 45-56.
- [15] Graeme K A, Pollack C V. Heavy metal toxicity, part 2: lead and metal fume fever [J]. *Journal of Emergency Medicine*, 1998, 16: 171-177.
- [16] Baudouin C, Charveron M, Taroux R, et al. Environmental pollutants and skin cancer [J]. *Cell Biology and Toxicology*, 2002, 18: 341-348.
- [17] Chen J. *Water environmental chemistry* [M]. Beijing: Higher Education Press, 1987, 176: 178 [陈静生. 水环境化学. 北京: 高等教育出版社, 1987, 176: 178].
- [18] Forstner U, Wittman G T. *Metal Pollution in the Aquatic Environment* [M]. Berlin: Springer Verlag Press, 1979, 110: 112.
- [19] Ferreira M F, Chiu W S, Cheok H K, et al. Accumulation of nutrients and heavy metals in surface sediments near Macao [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1996, 32: 420-425.
- [20] Marengo E, Gennaro M C, Robotti E, et al. Investigation of anthropic effects connected with metal ions concentration, organic matter and grain size in Bom dia River sediments [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2006, 560: 172-183.
- [21] Chapman P M. Sediment quality assessment status and outlook [J]. *Journal of Aquatic Ecology Health*, 1995, 4: 183-194.
- [22] Møller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River [J]. *Geochimica*, 1969, 2: 108-118.
- [23] Chernoff H. The use of faces to represent points in k-dimensional space graphically [J]. *Journal of the American Statistical Association*, 1973, 68: 361-368.
- [24] Hanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach [J]. *Water Research*, 1980, 14: 975-1001.
- [25] Hilton J A, Davison W, Ochsenbein U. Mathematical model for analysis of sediment trace metal implications for enrichment factor calculation and trace metal transport mechanisms [J]. *Chemical Geology*, 1985, 48: 281-291.
- [26] DiToro DM, Mahony JD, Hansen D J, et al. Toxicity of cadmium in sediments: the role of acid-volatile sulfide [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1990, 9: 1487-1502.
- [27] DiToro DM, Mahony JD, Hansen D J, et al. Acid-volatile sulfide predicts the acute toxicity of cadmium and nickel in sediments [J]. *Environmental Science & Technology*, 1992, 26: 96-101.
- [28] Ankley G T, Hoke R A, Giesy J P, et al. Evaluation of the toxicity of marine sediments and dredge spoils with the microtox bioassay [J]. *Chemosphere*, 1989, 18: 2069-2075.
- [29] Ankley G T, Phipps G L, Leonard E N, et al. Acid-volatile sulfide as a factor mediating cadmium and nickel bioavailability in contaminated sediments [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1991, 10: 1299-1307.
- [30] Ankley G T, Mattson V R, Leonard E N, et al. Predicting the acute toxicity of copper in freshwater sediment: evaluation of the role of acid-volatile sulfide [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1993, 12: 315-320.
- [31] Liu F W, Yan W, Wang W Z, et al. Pollution of heavy metals in the Pearl River Estuary and its assessment of potential ecological risk [J]. *Marine Environmental Science*, 2002, 21: 34-38 [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. 海洋环境科学, 2002, 21: 34-38].
- [32] Wang Z H, Lin Q, Li C H, et al. Variation features and ecological assessment of heavy metals from Pearl River estuary [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2004, 11: 214-219 [王增焕, 林钦, 李纯厚, 等. 珠江口重金属变化特征与生态评价. 中国水产科学, 2004, 11: 214-219].
- [33] Huang X Q, Liang K, Liu X. The distribution and assessment of heavy metals in surficial sediments in the Pearl River estuary [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2006, 3: 27-36 [黄向青, 梁开, 刘雄. 珠江口表层沉积物有害重金属分布及评价. 海洋湖沼通报, 2006, 3: 27-36].
- [34] Wei F S, Qiu W Q. Atomic absorption spectroscopy and its application in environmental analysis [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1988, 156: 224 [魏复盛, 齐文启. 原子吸收光谱及其在环境分析中的应用. 北京: 中国环境科学出版社, 1988, 156: 224].
- [35] Yang Z, Li B G, Wang D W, et al. Pollution and the potential ecological risk assessment of heavy metals in sediment of Baiyangdian Lake [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24: 945-951 [杨卓, 李宝贵, 王殿武, 等. 白洋淀底泥重金属的污染及其潜在生态危害评价. 农业环境科学学报, 2005, 24: 945-951].

STUDY ON THE ECOLOGICAL RISK OF HEAVY METALS IN THE SURFACE SEDIMENTS IN GUANGZHOU SECTION OF THE PEARL RIVER

NIU Hong^{1,2}, WU Qun¹ and CHEN Xin²

(¹Research Institute of Environmental Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275)

(²Guangzhou Research Institute of Environmental Protection, Guangzhou 510620)

Abstract The internal pollution sources are going to be the main factors to influence the water quality of river with the implementation of interception project which had effective control of exotic pollution sources in Guangzhou section of the Pearl River. We investigated Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Cd, Hg and As contents distribution characteristics and potential ecological risk in the surface sediments in Guangzhou section of the Pearl River. The results showed that heavy metal appeared inverted/W shape on longitudinal distribution characteristics in the trunk stream. Huadi Stream is the highest, Wu Stream is the lowest, and other streams are in the middle for heavy metal contents in sediments in creeks. The space distribution characteristics of these heavy metals are generally in similar pattern. There is a positive correlation among heavy metals (except Hg and Cd), especially between Cr and Cd, Cu and Cd, Cr and Cu and Cr and Ni, which shows heavy metals have the same distribution tendency in surface sediments. The potential ecological risk of heavy metals in the surface sediments decreased in the following order: Hg > Cd > Cu > As > Pb > Zn > Cr, indicating Hg is the most important ecological risk factor. According to the analysis of potential ecological risk factor (E_r^i) and the potential ecological risk index (RI) of heavy metals, it can be concluded that 5[#] (Huangqi), 6[#] (Huangsha), 16[#] (The north exit of the Huadi Stream), 7[#] (Hengjiao) and 14[#] (The bridge of Zengbu) are the most polluted sites.

Key words Sediment; Heavy metal; Ecological risk