

湘江沉积物污染初步评价

曾北危 潘佑民 黄 璋

(湖南省环境保护科学研究所)

沉积物与水,水生生物并列为水环境的三个要素。由于环境化学的深入发展和沉积物本身的独特优点,对沉积物的研究和评价,引起了越来越多的环境科学工作者的兴趣,这方面的文献报道,逐年增多。

本文概述了湘江环境和沉积物的主要特点,并根据重金属元素和BHC等在沉积物中高度富集累积的特性,用地质积累指数 I_{geo} 值表征湘江沉积物的污染现状,进行初步评价。

一、沉积物特性

1. 元素丰度高。重金属元素等在沉积物中的丰度,一般在 10^{-1} — $10^{-2}\%$,少数在地壳中丰度低的元素,也有 $10^{-5}\%$ 左右。比水中同类元素的含量,往往高出了1—4个数量级。

2. 富集系数大。沉积物主要由粘土矿物和腐殖质等组成,它们对金属离子具有吸附和螯合的作用,吸附容量大。因此,重金属和BHC等难降解物可以在沉积物中高度富集累积。工业废水中重金属的含量愈高,排放的时间愈长,它们在沉积物中富集的丰度愈大。其富集系数往往达到 10^4 — 10^5 。一般天然淡水的酸碱度接近中性,正是大多数金属离子在水溶液中沉淀的较佳pH值范围。这就更有利于沉积物的富集累积作用。由此可见,以重金属和BHC等为主要污染物的水体,只有水质分析,而缺少沉积物方面的工作,就不能正确评价水环境的污染状况。

3. 相对稳定静止。与水和水生生物相比,沉积物在水环境中具有相对稳定静止的特点。水质的分析结果,受流量和工业污水排放的影响很大,不同时间在同一地点采集的水样,分析结果的变化幅度有时可达2—3个数量级。水生生物本身有流动性,水体污染也不是影响生物群落结构的唯一原因。而沉积物中污染物的丰度受流量的影响相对较少,它反映了长期性的平均污染水平。由于沉积物的相对稳定静止,可以进行回顾分析,记录了环境污染史和变迁状况,追溯工业污染的历史。便于估算金属的总量,以估价企业的工艺水平和经济效益,进行环境经济方面的研究。

4. 样品易保存。水样中的金属元素易被器壁吸附,发生形态方面的变化,保存措施要求较严格。沉积物样品则容易保存,特别在风干研磨以后,可以存放相当长的时间,而不会改变其中大多数金属元素的丰度。对结果进行检查对照十分方便。

二、湘江环境的主要特征

湘江源出广西海洋山,自桂北进入湘西南,折东向北,在湘阴县入洞庭湖,再注入长江,全长 856 公里,长沙、湘潭、株洲、衡阳等工业城市,都座落在江的两岸。湘江中、下游是湖南省人口,经济和能耗最密集的地区。湘江环境的主要特点有如下几点。

1. 流量大。湘江流域年平均降雨量为 1350—1450 毫米,入湖年迳流量约 713 亿立方米。位于上游的老埠头水文站,在流量最小的元月,也有 191 立方米/秒。因流量大,江水曝气充足,含氧丰富,具有一定的氧化能力。因此,湘江对酸碱等工业污染物具有较大的环境同化容量,对酚、氰等易降解物和以 BOD 为指标的城市生活污水具有较强的环境同化能力。

2. 气温高。湘江地处亚热带,流域内年平均气温为 17—18℃,适宜于各种微生物和藻类的繁殖生长,有利于各种有机污染物的降解同化。

3. 重金属资源丰富。湖南素有“有色金属之乡”的盛名,而其主要的矿藏和冶炼厂集中在湘江流域。锌、铅、铜、锰等矿,遍布于湘江两岸。有近 100 年开采历史的水口山铅锌矿,以及闻名全国的株洲冶炼厂,都在湘江之畔。这些都构成了湘江水环境的重金属污染的来源。

4. 沉积物特征。湘江沿岸的地质特点,可以概括如下:零陵以上的上游,以石灰岩为主。零陵至株洲一带,主要是由花岗岩和紫色砂岩发育而成的红色盆地。长沙以北主要是第四纪沉积层。这样的地质特征,形成湘江水质在水化学上分属 C_1^{Ga} 型。 Ca^{2+} 在江水中占阳离子总量的 71.2%, HCO_3^- 占阴离子总量的 92%,它们在江水中占主导地位。重碳酸离子(HCO_3^-)的大量存在,增强了水环境对酸碱物质的缓冲能力。与这种地质构造相适应,使碳酸盐和水合铁锰氧化物成为重金属在沉积物中重要的存在形态,加上其他形式的不安定态,约占沉积物中金属总量的 40—60%。在环境条件恶化(如 pH 降低)时,这部分金属能够从沉积物中释放出来。

上述环境特征,使沉积物的研究和评价,成为湘江水环境研究工作的必不可少的内容。

三、评价模式

考虑到重金属、放射性,有机氯(PCB、DDT、BHC等)和多环芳烃(PAH)等在沉积物中具有高度富集的特征,我们采用地质积累指数 I_{geo} 值来表征湘江沉积物的污染程度。计算的模式如下:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{\bar{C}_i}{K B_i} \quad (1)$$

其中

\bar{C}_i —元素 i 在沉积物中的平均丰度(mg/kg)

B_i —元素 i 的地球化学背景值(mg/kg)

K —系数。 K 值大小根据地层特征决定。

湘江干流经历了不同的地质年代,有着不同的地层构造。不同江段沉积物中重金属

的天然含量必然不同。根据源头样品确定的地球化学背景值,应作适当的修正,才能用作沉积物中重金属污染的评判标准。考虑到钛元素在地壳中分布较广,丰度变幅不大,又难以迁移的特点,所以用钛丰度对背景值进行修正。自湘江源头到河口约800多公里地段,采集了48个沉积物样品,测得的钛丰度值为 3100 ± 1000 ppm,变异系数为32.2%,证明丰度波动幅度较小。背景值的修正系数 K 值的计算公式是:

$$K = \frac{(T_i)_j}{(T_i)_b} \quad (2)$$

式中:

$(T_i)_j$ —钛元素在 j 江段的丰度值(mg/kg)

$(T_i)_b$ —钛元素在湘江源头测定的地球化学背景值(mg/kg)。

BHC等人工合成有机氯化物,不进行这种修正。因为它们在地壳、土壤、沉积物中的含量,完全受人类活动的影响。其“背景值”的含义就不如金属元素等天然物质那样明确,称“对照值”或“比较值”合适得多。

湘江干流沉积物中重金属元素和BHC等的地球化学背景值,是根据上游兴安和海洋河等地的沉积物样品测定的,数据列如表1。

表1 湘江沉积物的背景值(mg/kg)

元 素 (i)	Cd	Hg	Pb	BHC	As	Cu	Cr	Zn	Co	Ni	Co
背景值 B_i	0.6	0.1	40	<0.1	15	22	54	73	1.5	40	9

根据(1)式计算的单因子地质积累指数 I_{geo} 值与沉积物污染等级的对应关系,见表2。

表2 I_{geo} 值与沉积物污染等级

I_{geo} 值	≤ 0	$>0-1$	$>1-2$	$>2-3$	$>3-4$	$>4-5$	>5
污染等级 n	0	1	2	3	4	5	6

沉积物中金属和BHC等的含量,通过模式(1)的数学变换以后,由地质积累指数 I_{geo} 值所区分的沉积物污染等级 n 与浓度值 \bar{C}_i 的关系,是一个等比级数($2^0\bar{C}_i, 2^1\bar{C}_i, 2^2\bar{C}_i, \dots, 2^n\bar{C}_i$)。等比级数的通式为

$$2^n \bar{C}_i (n=0, 1, 2, \dots, 6)$$

级数的公比为2,指数 n 即是沉积物的污染等级。

用地质积累指数 I_{geo} 值区分的污染等级,减少了用等标污染度值 $I_i \left(I_i = \frac{\bar{C}_i}{B_i} \right)$ 划分方法中的主观性,因而其结果要客观得多。

湘江不同江段沉积物中金属和BHC的 I_{geo} 值和污染等级见表3,相应的示意图见图1。

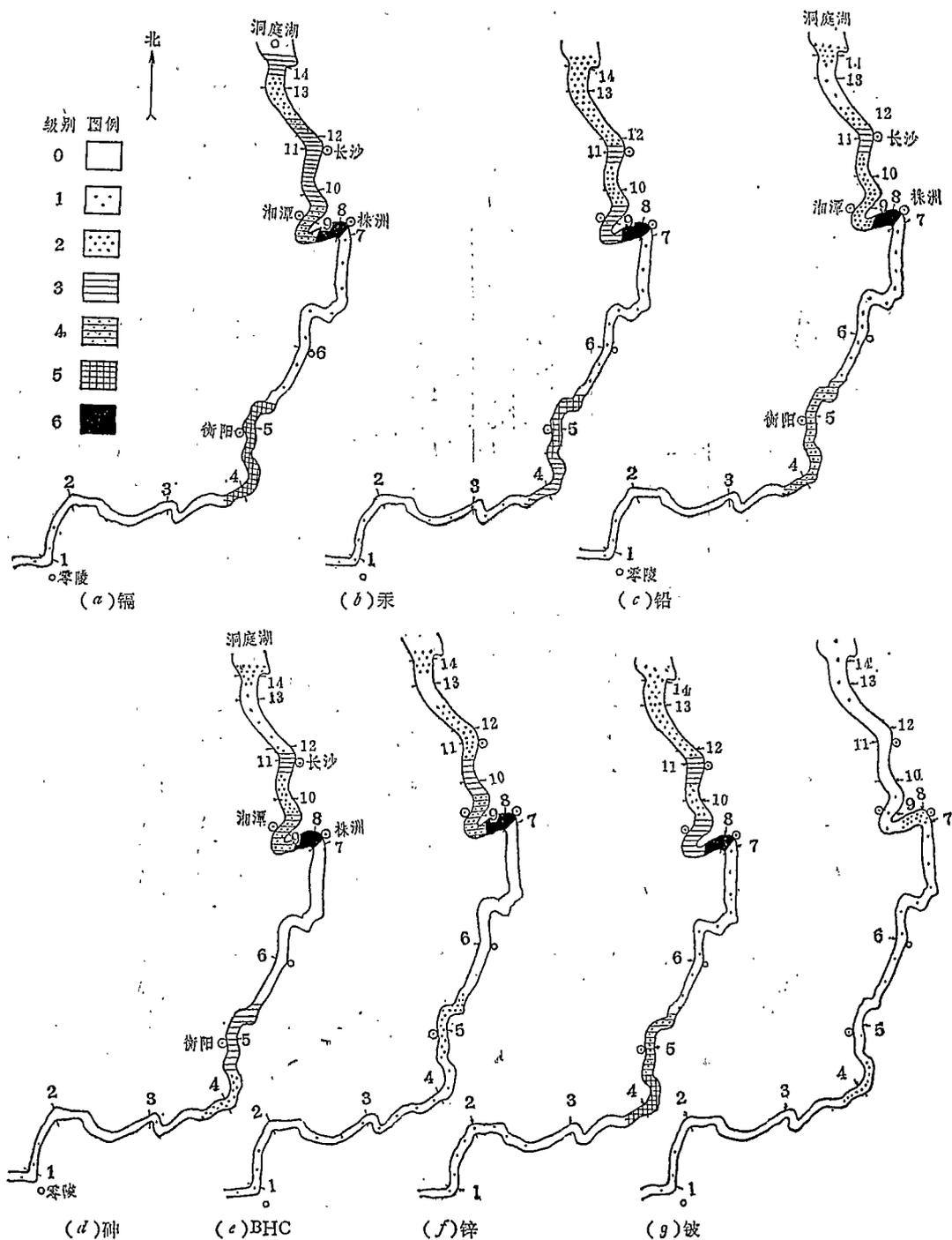


图 1 湘江沉积物中重金属和BHC的 I_{geo} 值——污染等级

编 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
地 点	老 埠 头	黄 阳 司	归 阳	松 柏	衡 阳	衡 山	株 洲 枫 溪	株 洲 霞 湾	湘 潭	易 家 湾	长 沙	浏 阳 河 口	铜 官	樟 树 港

表 3 湘江沉积物金属和BHC的 I_{geo} 值与污染等级

元 素 I_{geo} 值			Cd		Hg		Pb		BHC		As		Cu	
			I_{geo}	等级	I_{geo}	等级								
采样地点	老 埠 头	0.78	1	0.14	1	0.07	1	0.32	1	-	1	0.27	1	
	黄 阳 司	-0.14	0	-0.74	0	-0.67	0	-0.97	0	-0.80	0	-0.62	0	
	归 阳 阳	-0.26	0	-0.94	0	-0.19	0	0.89	1	0.25	1	-0.91	0	
	松 柏 柏	4.25	5	1.98	2	3.09	4	0.26	1	2.98	3	2.05	3	
	衡 阳 山	4.29	5	2.04	3	3.83	4	1.48	2	4.04	5	2.13	3	
	衡 山 山	0.34	1	-0.18	0	0.56	1	-0.32	0	0.93	1	-0.24	0	
	株洲	枫 溪 湾	0.26	1	-0.15	0	0.41	1	-0.32	0	0.68	1	-0.70	0
			6.02	6	7.36	6	5.40	6	9.67	6	7.02	6	5.26	6
	湘 潭 潭	3.10	4	3.78	4	2.00	2	3.17	4	2.56	3	1.19	2	
	易 家 湾	2.11	3	1.94	2	1.50	2	2.83	3	1.86	2	0.99	1	
	长 沙 沙	2.72	3	2.48	3	2.17	3	1.96	2	2.08	3	2.22	3	
	浏 阳 河 口	2.09	3	0.70	1	1.08	2	1.32	2	1.38	2	1.73	2	
	铜 官 官	1.18	2	0.46	1	0.52	1	-0.15	0	1.12	2	0.24	1	
樟 树 港	2.18	3	1.48	2	0.17	2	1.81	2	1.55	2	0.61	1		

元 素 I_{geo} 值			Be		Zn		Cr		Co		Ni	
			I_{geo}	等级	I_{geo}	等级	I_{geo}	等级	I_{geo}	等级	I_{geo}	等级
采样地点	老 埠 头	0.41	1	0.67	1	0	0	0	0	-0.19	0	
	黄 阳 司	-0.32	0	0.38	1	-1.09	0	-0.53	0	-0.83	0	
	归 阳 阳	0	0	-0.24	0	-0.95	0	0	0	-0.54	0	
	松 柏 柏	0.10	2	4.10	5	-0.13	0	-0.36	0	-0.54	0	
	衡 阳 山	-0.58	0	3.91	4	-0.41	0	0	0	-0.68	0	
	衡 山 山	0.74	1	0.66	1	-0.87	0	-0.58	0	-0.30	0	
	株洲	枫 溪 湾	0.41	1	0.59	1	-0.95	0	-0.36	0	-0.68	0
			1.20	2	5.71	6	0.53	1	0.15	1	-0.42	0
	湘 潭 潭	0.26	1	2.34	3	0.04	1	-0.36	0	-0.68	0	
	易 家 湾	0	0	1.49	2	-0.18	0	0	0	-0.42	0	
	长 沙 沙	0.26	1	2.55	3	0.56	1	-0.58	0	-1.41	0	
	浏 阳 河 口	-0.58	0	1.48	2	0.43	1	0	0	-0.49	0	
	铜 官 官	0.74	1	1.81	2	-1.27	0	-0.36	0	-0.19	0	
樟 树 港	0.41	1	1.46	2	-0.03	0	-0.36	0	-0.57	0		

四、结 果

为了清楚地表述湘江沉积物主要污染特征,以及受污染的主要江段,将表3数据进行两种简单的处理.

首先,将金属元素在全江的地质积累指数 I_{geo} 加和,并求出全江的平均值,得到表4

表 4 金属元素和BHC的地质积累指数 I_{geo} 值在全江范围之比较

元 素	Cd	Hg	As	Pb	Zn	BHC	Cu	Be	Cr	Co	Ni
比较内容											
ΣI_{geo}	29.2	20.0	26.1	20.9	26.9	20.0	14.0	3.03	-4.3	-3.3	-8.0
平均 I_{geo}	2.1	1.4	1.9	1.5	1.9	1.4	1.0	0.2	-0.3	-0.2	-0.6

的结果。

由表 4 和表 3 可见,湘江沉积物中主要的污染金属是 Cd、Zn、As、Pb。它们的 I_{geo} 值在全江平均接近 2。除上游个别江段,全江大部分地方都受到了 Cd、Zn、As 的污染,带有普遍性。铅的污染也是普遍的,但 I_{geo} 值在全江平均较镉、锌、砷低。汞和铜的污染是局部性的,主要集中在株洲-湘潭,松柏-衡阳两个江段和长沙附近。铍对株洲霞湾和松柏两地造成了中等程度的污染,其余地方接近背景水平。铬、钴、镍三个元素在全江接近背景含量,说明湘江很少受到这三个元素的污染。

有机氯化物 BHC 对湘江的污染是普遍的。[株洲以上江段除衡阳以外,基本与兴安、海洋河等接近源头的地区水平相当。而株洲以北的下游,沉积物中 BHC 的含量很高。因为湘江上游是山区,稻田相对少,农药施用水平低。而在衡阳以下,属丘陵平原区,稻田密集,复种指数高,农药的施用量很大,加上沿岸大大小小的 BHC 生产工厂,造成了 BHC 的严重污染。

其次,我们根据金属元素和 BHC 的环境毒理学特点和它们在全球研究中的战略地位,区分为 Cd、Hg、Pb、BHC(I 类)和 As、Cu、Zn、Cr(II 类)两大类,并作如下简单的规定:如果有一个以上的 I 类元素,或者同时有两个以上的 II 类元素,其地质积累指数值 I_{geo} 落在 n 等级污染所规定的范围内,则认定此沉积的污染属 n 等级,根据此原则得到的综合结果,归纳于表 5。

表 5 湘江沉积物污染综合分级

采 样 点	老 埠 头	黄 阳 司	归 阳	松 柏	衡 阳	衡 山	株 洲 枫 溪	株 洲 霞 湾	湘 潭	易 家 湾	长 沙	浏 阳 河 口	铜 官	樟 树 港
等 级	1	0	0	5	5	1	1	6	4	3	3	3	2	3

表 5 和表 4 指出,沉积物污染最严重的地方是株洲霞湾。该段 Cd、Hg、Pb、BHC、As、Cu、Zn 等七项的地质积累指数 I_{geo} 值都在 5 以上,相应的污染等级均为 6 级。其中 BHC 的 I_{geo} 值达到 9.67,接近 10。况且株洲霞湾以下各段的污染等级都明显地比上游要高,可见株洲冶炼厂和株洲化工厂等组成的清水塘工业区废水对湘江的危害十分严重。沉积物中金属丰度的另一个峰值,是在松柏-衡阳江段,综合污染分级属 5 级。主要的污染金属是 Cd、Pb、Zn、As。这正是水口山铅锌矿及其他多金属矿开采和冶炼集中的地区。

接近株洲霞湾下游的湘潭,沉积物的污染仅次于上述两段,居第三位。综合污染等级分属 4 级。主要的污染元素是 Cd 和 Hg,其次有 As 和 Pb。污染的来源除了湘潭市本身的工业废水和城市生活污水外,还受到了上游株洲市清水塘工业污染源的一定程度的影响。

就全江而言,株洲霞湾以北江段,沉积物受重金属和 BHC 的污染都较严重。而在株洲市往南的上游江段,除了松柏-衡阳一带以外,沉积物受重金属和 BHC 的污染较轻。其中自源头到归阳之间,重金属和 BHC 在沉积物中的含量与背景值接近,基本上未受污染。衡阳以下的衡山到株洲枫溪之间,沉积物中金属和 BHC 的含量比背景值稍高,是湘

江干流第二段比较清洁的江段。

上述结果,与湘江水样分析和水生生物调查的结果相一致,与沿岸污染源的分布相吻合。

(1982年1月8日收到)

参 考 文 献

- (1) G. Muller, Chemiker Zeitung, No. 105, 1981.
- (2) V. Fostner and G. T. W Wittmann, Metal Pollution in the Aquatic Environment, 1979.
- (3) 毛美洲等,环境科学,5,35 (1981).