

# 合肥市南淝河表层沉积物重金属污染评价

张晓斌<sup>1,2</sup>, 黄明<sup>1</sup>, 吴东彪<sup>2</sup>

(1.安徽建筑工业学院 环境与能源工程学院, 合肥 230022; 2.安徽省建设工程勘察设计院, 合肥 230001)

**摘要:** 对合肥市南淝河表层沉积物中重金属污染状况进行采样调查, 选取了 8 个采样点, 测定了沉积物中 Cr、Cd、Pb、Ni、Zn、Cu 6 种重金属的含量, 并采用地质累积指数法和 Hakanson 潜在生态风险指数法对其污染程度进行分析评价。地质累积指数评价结果表明: 南淝河 6 种重金属的生态风险等级由强至弱依次为 Cd、Zn、Cu、Ni、Pb、Cr; 生态风险指数评价结果显示: 在南淝河沉积物重金属中, Cd 存在一定的潜在生态风险, Cr、Pb、Ni、Zn、Cu 均处于轻微等级, 重金属生态风险等级由强至弱依次为 Cd、Cu、Ni、Pb、Zn、Cr, 多数采样点的沉积物重金属综合潜在生态风险等级处于轻微级, 个别采样点达到了中等甚至强生态风险等级。

**关键词:** 地质累积指数; 潜在生态风险指数; 重金属; 表层沉积物

中图分类号: X522; X824 文献标识码: A 文章编号: 1009-2455(2012)04-0036-04

## Evaluation of pollution of heavy metals in surface sediments of Nanfei River

ZHANG Xiao-bin<sup>1,2</sup>, HUANG Ming<sup>1</sup>, WU Dong-biao<sup>2</sup>

(1. School of Environment and Energy Engineering, Anhui University of Architecture, Hefei 230022, China; 2. Anhui Geotechnical Investigation and Architectural Design Institute, Hefei 230001, China)

**Abstract:** The pollution situation of heavy metals in surface sediments of Nanfei River in Hefei was investigated. Selecting 8 monitoring points, the concentration of Cr, Cd, Pb, Ni, Zn and Cu in the samples were measured, and the pollution degree were analyzed and evaluated by geo-accumulation index and Hakanson potential ecological risks index. The results indicated that, based on the geo-accumulation index, the ecological risk levels of the six kinds of heavy metals in Nanfei River from strong to weak was in an order of Cd, Zn, Cu, Ni, Pb and Cr; according to the Hakanson potential ecological risk index, the risk of Cr, Pb, Ni, Zn and Cu belonged to "slight" level, while the risk of Cd was a little bit serious. From strong to weak, the ecological risk order of the heavy metals was Cd, Cu, Ni, Pb, Zn and Cr. It could be seen that, for most monitoring points, the synthetic potential ecological risk of the heavy metals in sediments of Nanfei River belonged to "slight" level; however, for some individual points, the risk achieved middle or even high level.

**Keywords:** geo-accumulation index; potential ecological risk index; heavy metals; surface sediments

世界各国的研究表明, 经各种方式进入水体中的重金属污染物不易溶解, 绝大部分迅速由水相转入固相, 结合到悬浮物和沉积物中, 这些重金属在随水搬运过程中, 当负荷超过搬运能力时, 便沉积下来进入沉积物中。当外界条件发生变化时, 沉积物中的重金属有可能释放到上覆水体中, 引起水体的“二次污染”<sup>[1]</sup>。因而研究与评价河流沉积物中的

重金属污染是非常重要的。

南淝河是巢湖的第一大支流, 流经合肥市区段(二环西路~当涂路桥)长 17.3 km。由于在市区段有合流污水流入, 加之四里河、板桥河等支流未经治理及河道补水不足, 南淝河水质较差。经调查, 河流沿岸部分企业有工业废水排出, 其中可能含有大量重金属, 对河流造成污染。

本文以合肥市南淝河表层沉积物为研究对象, 对其中的重金属污染进行分析和评价, 为合肥市主要河道重金属污染控制提供参考依据。

## 1 样品采集与分析

### 1.1 样品采集

在南淝河中选取 8 个表层沉积物采样点, 选用彼得逊采泥器进行采集。现场用木勺取顶部 0~5 cm 处的表层沉积物, 并去除碎石, 杂物, 混合均匀, 迅速装入聚乙烯采样袋, 再放入不透光密闭容器中。回到实验室后将样品放入 FD-1A-50 型冷冻干燥机进行冷冻干燥处理, 运用四分法去除多余的部分, 再用玛瑙研钵研磨, 自然风干, 过 60 目筛子, 然后保存于封口袋中, 置于干燥器中备用。

### 1.2 样品分析与测试

本次调查主要研究了 6 种具有高度生态风险的重金属(Cd、Cr、Zn、Ni、Pb、Cu), 采用电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP-AES)测定各重金属含量, 结果见表 1。

表 1 南淝河表层沉积物中重金属含量

Tab. 1 Content of heavy metals in surface sediments of Nanfei River  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

采样点	Cr	Cd	Pb	Ni	Zn	Cu
1	65.2	0.290	29.80	31.20	117.0	36.50
2	63.6	0.740	33.50	27.30	229.9	73.80
3	78.7	0.990	44.60	30.70	338.4	110.90
4	58.6	0.400	24.20	26.60	219.8	91.10
5	61.6	0.080	8.37	23.50	41.2	21.30
6	50.8	0.055	9.78	19.50	28.2	20.40
7	47.4	0.097	22.20	23.40	34.1	16.50
8	15.3	0.050	7.02	6.01	26.7	7.21

### 1.3 重金属污染评价方法

目前, 国内外常用的水体沉积物重金属污染的评价方法主要有: 地质累积指数法<sup>[2]</sup>、潜在生态危害指数法<sup>[3]</sup>、沉积物富集系数法<sup>[4]</sup>、污染负荷指数法<sup>[5]</sup>、回归过量分析法<sup>[6]</sup>、脸谱图集法<sup>[7]</sup>等。

南淝河的重金属污染主要由工业污染及沿岸排污所致, 其中, 工业排污是南淝河沉积物中重金属污染的主要来源。因此, 南淝河沉积物中重金属含量的变化具有现代沉积物特征, 宜采用地质累积指数法及 Hakanson 潜在生态风险指数法进行评价<sup>[8]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 地质累积指数法

地质累积指数( $I_{\text{geo}}$ )是一种研究水体环境沉积物

中重金属污染的定量指标, 由德国海德堡大学沉积物研究所的 Muller 于 1969 年提出, 被广泛用于评价现代沉积物中的重金属污染。计算公式如下:

$$I_{\text{geo}} = \log_2 \left( \frac{C_n}{K \times B_n} \right) \quad (1)$$

式中:  $C_n$ ——实测重金属浓度,  $\text{mg}/\text{kg}$ ;

$B_n$ ——合肥市江淮分水岭全区平均土壤背景值,  $\text{mg}/\text{kg}$ ;

$K$ ——考虑到造岩运动可能引起背景值波动而设定的常数, 通常取 1.5。

依据  $I_{\text{geo}}$ , 将沉积物中重金属污染状况划分为 7 个等级, 结果见表 2。

表 2 重金属污染程度级别

Tab. 2 Classification of heavy metal pollution degree

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

关于重金属含量评价的参考值, 目前国内外还没有统一的标准, 主要是根据不同的研究区域采取不同的参考标准。结合合肥市南淝河的具体情况, 对比安徽省土壤背景值和合肥市江淮分水岭全区土壤背景值(见表 3)研究发现: 合肥市江淮分水岭全区土壤背景值中除了 Cr、Cu 值比安徽省土壤背景值稍高以外, 其它背景值均低于安徽省土壤背景值。南淝河位于江淮分水岭以南, 采用合肥市江淮分水岭全区土壤背景值更加合理。表 4 为由南淝河表层沉积物含量和地质累积指数公式计算出来的各采样点的  $I_{\text{geo}}$  和分级。

表 3 重金属的背景值

Tab. 3 Background values of heavy metals  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

监测指标	Cr	Cd	Pb	Ni	Zn	Cu
安徽省土壤背景值	66.5	0.097	26.6	29.8	62.0	20.4
合肥市江淮分水岭全区土壤背景值	69.0	0.090	25.0	25.0	52.0	25.0

表 4 结果表明: 各采样点表层沉积物中的 Cr、Ni 的地质累积指数均小于 0, 属清洁; 除 3 号点的 Pb 属轻度污染外, 其余采样点的 Pb 的污染程度都很轻微, 属清洁; Cu 的污染程度略高一点; Cd 和

表 4 南淝河表层沉积物  $I_{geo}$  及分级  
Tab. 4  $I_{geo}$  and the levels of heave metal pollution in surface sediments of Nanfei River

采样点	Cr		Cd		Pb		Ni		Zn		Cu	
	$I_{geo}$	分级	$I_{geo}$	分级	$I_{geo}$	分级	$I_{geo}$	分级	$I_{geo}$	分级	$I_{geo}$	分级
1	-0.67	0	1.10	2	-0.33	0	-0.27	0	0.59	1	-0.04	0
2	-0.70	0	2.45	3	-0.16	0	-0.46	0	1.56	2	0.98	1
3	-0.40	0	2.87	3	0.25	1	-0.29	0	2.12	3	1.56	2
4	-0.82	0	1.57	2	-0.63	0	-0.50	0	1.49	2	1.28	2
5	-0.75	0	-0.75	0	-2.16	0	-0.67	0	-0.92	0	-0.82	0
6	-1.03	0	-1.30	0	-1.94	0	-0.94	0	-1.47	0	-0.88	0
7	-1.13	0	-0.48	0	-0.76	0	-0.68	0	-1.19	0	-1.18	0
8	-2.76	0	-1.43	0	-2.42	0	-2.64	0	-1.55	0	-2.38	0
平均值	-1.03	0	0.50	1	-1.02	0	-0.81	0	0.08	1	-0.19	0

Zn 的污染程度较重，50% 的采样点均显示中度及偏中度污染。值得注意的是，采样点 3 的各项重金属  $I_{geo}$  均高于其它采样点，有可能是该位置区域有工业废水流入，应加以关注。

从平均值看，南淝河表层沉积物重金属  $I_{geo}$  分级均小于 1，属于清洁到轻度污染范畴，说明在研究区域内的南淝河表层沉积物重金属受人类活动的影响较小。6 种重金属元素在研究区域内的污染程度顺序为：Cd > Zn > Cu > Ni > Pb > Cr。

2.2 潜在生态风险指数法

地质累积指数法侧重于单一重金属元素，未考虑生物有效性和相对贡献比例<sup>[9]</sup>。Hakanson 于 1980 年提出的沉积物潜在生态危害指数法则综合考虑了重金属的毒性、迁移转化规律和评价区域对重金属污染的敏感性<sup>[3]</sup>，消除了区域差异和异源污染的影响<sup>[10]</sup>，并给出了潜在生态危害程度的定量划分方法。本文据此对南淝河表层沉积物中的 6 种重金属 (Cr、Cd、Pb、Ni、Zn 和 Cu) 潜在生态风险进行了评价。

根据潜在生态风险指数法，单种重金属的污染系数  $C_f^i$ 、单种重金属潜在生态风险指数  $E_r^i$  (此值被用来反映重金属的毒性水平与生态对重金属污染物的敏感程度) 和多种重金属潜在生态风险指数  $RI$  的计算公式分别表示为：

$$C_f^i = C^i / C_n^i \tag{2}$$

$$E_r^i = T_r^i \cdot C_f^i \tag{3}$$

$$RI = \sum_{i=1}^m E_r^i = \sum_{i=1}^m (T_r^i \cdot C_f^i) \tag{4}$$

式中： $C^i$  —— 表层沉积物中某种重金属的实际含量，mg/kg；

$C_n^i$  —— 该种重金属的参照值，mg/kg；

$T_r^i$  —— 某种重金属的毒性响应系数。

为了更好地反映目前南淝河受重金属污染的情况，本文选取合肥市江淮分水岭全区土壤背景值作为参照值 (见表 3)。毒性响应系数  $T_r^i$  反映了金属的毒性水平与水体对金属污染物的敏感程度，它也反映了重金属在水相、沉积固相和生物相之间的响应关系。参照 Hakanson 和徐争启等<sup>[11]</sup> 的研究成果，本文中 6 种重金属的  $T_r^i$  见表 5。 $E_r^i$  和  $RI$  值相对应的污染程度及潜在生态风险程度见表 6。

表 5 重金属元素的毒性响应系数  
Tab. 5 Toxicity coefficient ( $T_r^i$ ) of heavy metals

元素	Cr	Cd	Pb	Ni	Zn	Cu
$T_r^i$	2	30	5	5	1	5

表 6 潜在生态风险指数法的分级标准  
Tab. 6 Grading standard of  $E_r^i$  and  $RI$

$E_r^i$	$RI$	污染程度
< 40	< 150	轻微生态危害
40 ~ 80	150 ~ 300	中等生态危害
80 ~ 160	300 ~ 600	强生态危害
160 ~ 320	$\geq 600$	很强生态危害
$\geq 320$		极强生态危害

按照潜在生态风险指数法得出的南淝河各取样点的重金属生态风险系数和生态风险指数计算结果见表 7。由表 7 可知，以  $E_r^i$  值为判断依据，Cd 存在一定的潜在生态风险，只有 50% 的采样点 Cd 的污染程度为轻微生态危害，Cd 在采样点 2 和 3 的  $E_r^i$  值甚至到了很强生态危害和极强生态危害的程度，并且 Cd 在各采样点的  $E_r^i$  平均值也显示为强生态危害；Cr、Pb、Ni、Zn 和 Cu 的生态风险程度

表 7 潜在生态风险指数法的评价结果  
Tab. 7 Evaluation of potential ecological risk index

采样点	$E_i^i$						$RI$
	Cr	Cd	Pb	Ni	Zn	Cu	
1	1.89	96.67	5.96	6.24	2.25	7.30	120
2	1.84	246.67	6.70	5.46	4.42	14.76	280
3	2.28	330.00	8.92	6.14	6.51	22.18	376
4	1.70	133.33	4.84	5.32	4.23	18.22	168
5	1.79	26.67	1.67	4.70	0.79	4.26	40
6	1.47	18.33	1.96	3.90	0.54	4.08	30
7	1.37	32.33	4.44	4.68	0.66	3.30	47
8	0.44	16.67	1.40	1.20	0.51	1.44	22
平均值	1.60	112.60	4.50	4.70	2.50	9.40	135

较低, 所有采样点均为轻微生态危害。各种重金属元素的生态风险大小顺序依次为:  $Cd > Cu > Ni > Pb > Zn > Cr$ 。

从综合潜在生态危害指数  $RI$  看, 南淝河有 62.5% 的采样点的潜在生态风险指数  $RI$  均小于 150, 属于轻微的生态风险等级; 采样点 3 的综合潜在生态风险较高, 显示为强生态危害。

分析比较潜在生态危害指数评价结果与地质累积指数评价结果,  $Cd$ 、 $Zn$  在地质累积指数评价中污染程度均较高, 但是  $Zn$  的生态风险程度并不高, 这主要是因为  $Zn$  的含量虽然高, 但由于其毒性响应系数低, 同时  $Cd$  的毒性响应系数较高, 所以与  $Cu$ 、 $Ni$  等重金属相比,  $Zn$  呈现出较低的生态风险, 而  $Cd$  则表现出了很强的生态危害效应。这从侧面说明了, 采用潜在生态风险指数法评价重金属的污染, 不仅反映了单一重金属元素的影响, 也反映了多种重金属的综合效应。潜在生态风险指数法不仅考虑了重金属的含量, 并且将各重金属元素的环境效应、生态效应及毒理学特性联系起来进行综合分析, 因此更适合对水生生态系统中的重金属污染做全面评价<sup>[12]</sup>。

### 3 结论

(1) 沉积物重金属地质累积指数评价结果显示, 南淝河  $I_{geo}$  均小于 1, 属于清洁到轻度污染;  $I_{geo}$  大于 0 的重金属主要为  $Cd$  和  $Zn$ 。6 种重金属元素在研究区域内的污染程度由强至弱为:  $Cd$ 、 $Zn$ 、 $Cu$ 、 $Ni$ 、 $Pb$ 、 $Cr$ 。

(2) 沉积物重金属潜在生态风险指数评价结果显示,  $Cd$  存在一定的生态风险, 有 50% 的采样点分别达到了强生态危害、很强生态危害和极强生态

危害;  $Cr$ 、 $Pb$ 、 $Ni$ 、 $Zn$  和  $Cu$  的生态风险程度较低, 所有采样点均为轻微生态危害。重金属的生态风险程度由强至弱为:  $Cd$ 、 $Cu$ 、 $Ni$ 、 $Pb$ 、 $Zn$ 、 $Cr$ 。

(3) 两种沉积物重金属污染评价结果均显示, 南淝河沉积物重金属污染程度不是很严重, 只有个别采样点的重金属污染风险稍高。如毒性响应系数较高的  $Cd$  在采样点 3 表现出了极高的生态风险, 并且在该点的上下游均表现出很强的生态风险。上述情况表明, 南淝河沿岸仍有少量重金属污染源, 尤其是  $Cd$  元素, 若不加强监管, 沉积物污染情况可能会加剧, 应当引起重视。

### 参考文献:

- [1] 朱维晃, 黄廷林, 柴蓓蓓. 环境条件变化下汾河水库沉积物中重金属形态分布特征及潜在生态风险评价[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(2): 34-40.
- [2] Forstner U. Lecture Notes in Earth Sciences (Contaminated Sediments)[M]. Berlin: Springer Verlag, 1989. 107-109.
- [3] Lars Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach[J]. Water Research, 1980, 14(8): 975-1001.
- [4] 陈静生, 陶澍, 邓宝山, 等. 水环境化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1987. 107-109.
- [5] 贾振邦, 周华, 赵智杰, 等. 应用地累积指数法评价太子河沉积物中重金属污染[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2000, 36(4): 39-42.
- [6] Hilton J, Davison W, Ochsenein U. A mathematical model for analysis of sediment data: implications for environment factor calculation and trace transport mechanisms[J]. Chemical Geology, 1985, 48(2): 281-291.
- [7] 刘文新, 栾兆坤, 汤鸿霄. 应用多变量脸谱法进行河流与湖泊表层沉积物重金属污染状况的综合对比研究[J]. 环境化学, 1997, 16(1): 23-29.
- [8] 张珂, 王朝晖, 冯杰, 等. 胶州湾表层沉积物重金属分布特征及污染评价[J]. 分析测试学报, 2011, 30(12): 1406-1411.
- [9] 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.
- [10] 冯慕华, 龙江平, 喻龙, 等. 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.
- [11] 徐争启, 倪师军, 虞先国, 等. 潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数的计算[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(2): 112-115.
- [12] 胡秀琳, 赵立新, 廖日红, 等. 温榆河沉积物中重金属污染评价[J]. 北京水务, 2011, (4): 23-26.

作者简介: 张晓斌(1987-), 男, 河南西峡人, 硕士研究生, 研究方向为水处理理论与技术, (电子信箱)zhangxiaobinboy@163.com。

收稿日期: 2012-03-21 (修回稿)