

小秦岭金矿区西峪河底泥重金属污染的潜在生态危害评价

张江华, 赵阿宁, 陈华清, 徐友宁, 何芳
ZHANG Jiang-hua, ZHAO A-ning,
CHEN Hua-qing, XU You-ning, HE Fang

中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054
Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China

摘要: 重金属元素易于累积, 生态效应影响强烈。分析了陕豫接壤的西峪河水系沉积物中Hg、Pb、Cd、As、Cr、Cu、Zn 7种重金属元素的含量, 根据地区参比值, 评价了金矿活动对西峪河底泥的污染。结果显示Hg、Pb是主要的污染元素; 进而用潜在生态危害指数法探讨了重金属元素污染的潜在生态危害性, 认为整个西峪河流域的Hg、Pb潜在生态危害很强, Cd具有强的潜在生态危害, 而Cr、As、Zn的潜在生态危害性轻微。

关键词: 小秦岭金矿区; 河流底泥; 重金属元素; 累积污染; 潜在的生态危害

中图分类号: X142 文献标志码: A 文章编号: 1671-2552(2008)08-1286-06

Zhang J H, Zhao A N, Chen H Q, Xu Y N, He F. Evaluation of potential ecological risk of heavy-metal pollution in bottom mud of the Xiyu River in the Xiaoqinling gold mining area, China. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(8):1286-1291

Abstract: Heavy metals are easy to accumulative, which may yield strong ecological effects. This paper analyzes contents of the seven heavy metals Hg, Pb, Cd, As, Cr, Cu and Zn in sediments of the Xiyu River on the Shaanxi-Henan border. According to the contrast parameter, the pollution of bottom sediments of the Xiyu River by gold mining operations was evaluated. The results show that mercury and lead were main pollution elements. The potential ecological risk of heavy-metal pollution is discussed using the potential ecological risk index. The authors think that: the potential ecological risk of mercury and lead in the whole Xiyu River drainage area is very strong and Cd has strong potential ecological risk, while the potential ecological risks of Cr, As and Zn are weak.

Key words: Xiaoqinling gold mining area; river bottom mud; heavy metals; cumulative pollution; potential ecological risk

研究表明, 矿区受污染的水-沉积物系统中, 液态和固态之间存在着非常复杂的物理、化学和生物学过程, 它们的相关变化依赖于水环境条件和沉积物的来源与构成^[1]。由于水体中的重金属元素污染物不易降解, 大部分会迅速地由液相转入固相中, 即迅速地结合到悬浮物和沉积物中。结合于悬浮物中的重金属元素在被水流搬运的过程中, 当负荷超过

搬运能力时, 最终转入沉积物中, 导致沉积物中的重金属元素含量比相应液相中的重金属元素含量高很多倍, 且稳定性高, 并表现出明显的含量分布的规律性^[2-3]。积累在底泥中的重金属元素污染物不是固定不变的, 在一定条件下, 重金属元素会再次进入水体中造成二次污染, 是一个潜在的二次污染源。沉积物具有反映水系统状况的意义^[4-5], 是水体污染的

收稿日期: 2008-06-02; 修订日期: 2008-06-25

地调项目: 中国地质调查局国土资源调查项目《小秦岭金矿区环境地质问题调查与评价》(编号: 1212010741003)、《重点矿区环境地质问题专题调查》(编号: 200412300057)、《陕西潼关金矿区环境地质问题专题调查》(编号: 200412300057-1)资助。

作者简介: 张江华(1979-), 男, 硕士, 工程师, 从事矿山地质环境调查研究。E-mail: camel_bird@126.com

指示剂,其环境质量反映着水体的污染状况^[6-7]。

虽然小秦岭矿区存在环境污染众所周知,但针对水系沉积物的重金属元素污染研究工作较少,更未开展过整个流域的生态危害调查和评价工作。本文在评价小秦岭水系沉积物污染现状的基础上,开展了重金属元素对整条水系的潜在生态危害研究,以期明确研究区水系沉积物的主要影响因子,并探讨潜在生态危害指数法的适用性。

1 研究区概况

小秦岭地处陕、豫2省交界的地带,是中国重要的黄金产区。黄金开采活动集中于山区,选冶活动主要分布于山外的农业生产区,矿业对环境的影响巨大。西峪作为陕、豫2省的分界沟谷,金矿发育、品位较高(10~32 g/t),故其开发强度最为巨大且矿业秩序也最为混乱,西峪河成为潼关矿区污染严重的水系之一。

西峪河发源于小秦岭北麓,在陕西省潼关县寺底村附近流入双桥河,于河南省灵宝市南城子西侧汇入黄河,全长13.5 km,流域面积约23.21 km²。西峪河从上游开始就不断接纳各种污染物。采矿废渣挤占、堵塞河道,在对雨季泄洪构成极大威胁的同时也改变了河流沉积物的成分。废石、尾矿渣遭受雨水的淋溶作用,其中的大部分重金属元素进入河水中。矿坑废水、选矿水、尾矿水无论直排还是经过处理,其中相当多的污染物最终还是进入河道;更为严重的是下游沿河存在的众多“三小”(小浮选、小氰化、小汞碾)提金活动,将大量含重金属元素的氰化渣、汞碾渣直接倾倒入河道中,严重改变了河水的水质和底泥的自然结构。西峪河底泥比较发育,厚度一般为10~30 cm,底泥呈青灰色,颗粒较细,在0~20 cm之间没有分层现象^①。

2 样品采集与分析

按照1件样/km的密度,在西峪河采集河流底泥样品,于各支流汇集点和污染源下方加密控制(图1),采样深度在0~20 cm之间。样品装入塑料袋密封,标明采集信息后及时送样。共采集底泥样品15件(D1—D15)。在室温下自然风干,研碎,筛取<60 μm的样品,分析测定Hg、Pb、Cd、Cr、As、Cu和Zn含量(测试单位为通过方圆“三合一”质量认证的西安地质矿产研究所测试中心)。

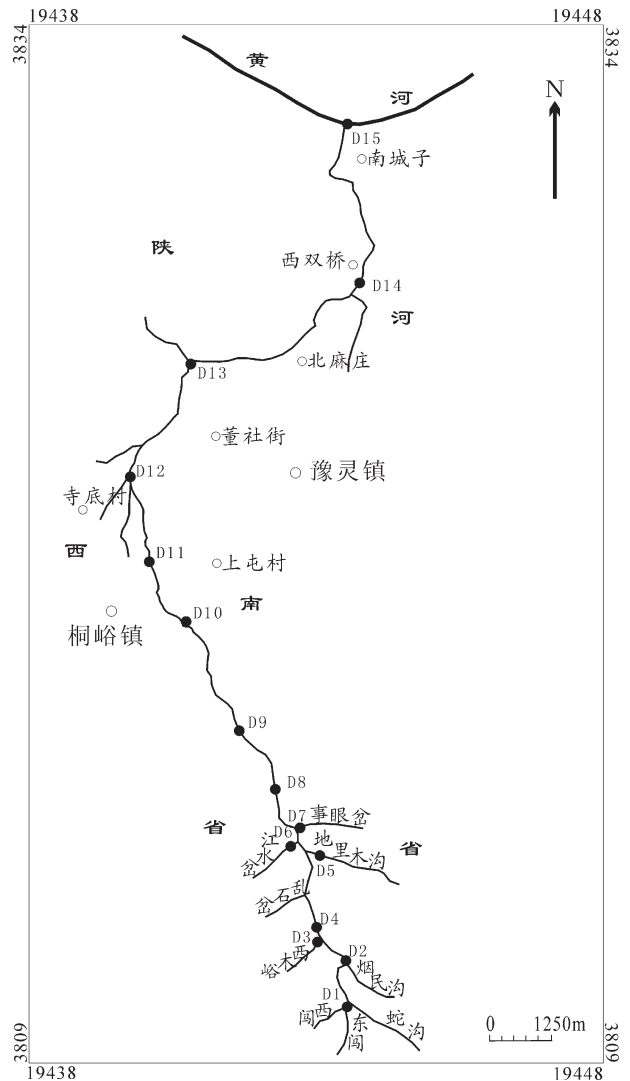


图1 样品D1—D15分布图

Fig. 1 Distribution of samples D1—D15

从表1看出,西峪河河流底泥中Pb、Hg含量的变化最大,最高含量分别是最低含量的127.44倍和109.38倍。2种元素的最大、最小含量均出现在山区,说明各条支沟受矿业影响的程度差异较大,矿业活动强烈的沟谷水系沉积物受到了严重污染,而部分未采矿的支沟仍反映原生背景。Cr和As含量变化较小,最高含量分别是最低含量的6.84和11.09倍。

由于国家尚未出台河流底泥环境质量标准,故在邻区(华阴地区)选择地质环境背景相近、不受矿业影响的河流采集4件水系沉积物样品(A、B、C、D)进行检测,以其重金属元素的含量均值作为参照评价标准(表2)。

表1 西峪河底泥重金属元素的含量

Table 1 Contents of heavy metals in bottom mud of the Xiyu River

地貌	样号	采样地点	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
山区	D1	东闯西闯交汇处	59.10	7075	0.74	27.4	8.30	500	98
	D2	西峪右岔口	53.00	10450	7.00	36.9	2.52	920	669
	D3	西木峪沟	2.24	95	1.59	13	6.51	42	181
	D4	西峪河	15.30	3675	3.00	30.1	3.26	264	319
	D5	地里木沟	32.60	2470	0.70	71.1	2.73	222	146
	D6	江水岔沟	245.00	9400	0.70	60.9	2.00	1040	154
	D7	事眼岔沟	3.02	82	0.20	78	1.89	49	48
	D8	西峪中游	48.90	5970	2.22	41	1.26	352	184
	D9	西峪下游	40.80	7820	2.90	32.8	2.73	414	350
	D10	西峪口	9.14	2400	2.22	29.4	1.68	245	238
山外平原	D11	墓塚村东	12.2	3558	2.20	17.1	0.88	299	188
	D12	三岔口	98.40	4535	7.13	41.7	7.04	546	588
	D13	铁沟口	9.14	1055	1.22	56.8	8.72	210	149
	D14	西双桥	12.2	3955	2.60	29.4	7.14	271	350
	D15	南城子	10.2	1339	1.00	88.9	9.76	308	135
原始值范围			2.24	82	0.2	13	0.88	42	48
最高含量/最低含量			~245	~10450	~7.13	~88.9	~9.76	~1040	~669
平均值			43.42	4258.60	2.36	43.63	4.43	378.80	253.13

注:元素含量为mg/kg

3 重金属污染评价

小秦岭矿区金矿以石英脉型矿床产出,伴生大量的黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等硫化物,同时普遍存在混汞提金工艺,因此选择Hg、Pb、Cd、Cr、As、Cu、Zn等重金属元素作为该区环境污染的评价因子。

采用单项累积污染倍数定量评价水系沉积物的重金属元素污染程度,公式为:

$$P_{ci}=(C_i-C_b)/C_b \quad (1)$$

式(1)中: P_{ci} 为某污染物累积污染倍数; C_i 为某污染物实测含量(mg/kg); C_b 为某污染物参比值(mg/kg),评价结果见表3。

表3表明,西峪河底泥中As元素未出现累积,Hg、Pb、Cu均100%累积,且累积污染严重,平均分别达到162.83倍、89.72倍和12.31倍;Cd、Zn 93.3%累积。平均累积程度从大到小依次为:Hg>Pb>Cu>Cd>Zn。Pb、Hg二者的污染分担率之和达91.87%,是

表2 西峪河邻区水系沉积物重金属元素的含量

Table 2 Contents of heavy metals in stream sediments of adjacent areas of the Xiyu River

编号	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
A	0.6	55.6	0.32	84.1	15.8	34	94
B	0.2	55.9	0.32	105	16.7	27.6	106
C	0.22	55	0.2	52.7	17.6	28.2	75.8
D	0.04	23.8	<0.1	75.2	12.3	24	89
平均值	0.27	47.58	0.28	79.25	15.6	28.45	91.2

注:元素含量为mg/kg

西峪河底泥的主要污染元素;Cd、Cu、Zn虽然普遍累积,但程度较轻;Cr、As基本未污染。所以,西峪河河流底泥的环境问题是以Pb、Hg为主的复合型污染。

4 重金属元素潜在生态危害评价

瑞典国家环保局乌普萨拉水质实验室 Lars

表3 西峪河底泥重金属元素的累积污染倍数

样号	采样地点	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
D1	东闯西闯交汇处	222.02	147.71	1.64	-	-	16.57	0.07
D2	西峪右岔口	199	218.65	24.00	-	-	31.34	6.34
D3	西木峪沟	7.45	19.07	4.68	-	-	0.48	0.98
D4	西峪河	56.74	76.25	9.71	-	-	8.28	2.50
D5	地里木沟	122.02	50.92	1.50	-	-	6.80	0.60
D6	江水岔沟	923.53	196.58	1.50	-	-	35.56	0.69
D7	事眼岔沟	10.4	0.72	-	-	-	0.72	-
D8	西峪中游	183.53	124.49	6.93	-	-	11.37	1.02
D9	西峪下游	152.96	163.37	9.36	-	-	13.55	2.84
D10	西峪口	33.49	49.45	6.93	-	-	7.61	1.61
D11	墓塬村东	45.04	73.79	6.86	-	-	9.51	1.06
D12	三岔口	370.32	94.32	24.46	-	-	18.19	5.45
D13	铁沟口	33.49	21.18	3.36	-	-	6.38	0.63
D14	西双桥	45.04	82.13	8.29	-	-	8.53	2.84
D15	南城子	37.49	27.15	2.57	0.12	-	9.83	0.48
	累积污染率	100%	100%	93.3%	6.67%	-	100%	93.3%
	污染物分担率	59.23%	32.64%	2.90%	0.04%	0.00%	4.48%	0.70%
	污染倍数范围	7.45~923.53	0.72~218.65	0~24.46	0~0.12	-	0.48~35.56	0~6.34
	平均值	162.83	89.72	7.99	0.12	-	12.31	1.94

注:红线表示未超标

HaKanson提出,用潜在生态危害指数法对水系沉积物中重金属元素的生态危害进行评价^[9]。潜在生态危害指数集中反映了表层水系沉积物中重金属元素的含量、种类、毒性水平及水体对重金属元素污染的敏感性等。HaKanson认为:①表层沉积物重金属元素的浓度,即潜在生态危害指数之值应随重金属元素污染程度的加重而增大;②重金属元素污染的种类数,即受多种重金属元素污染的沉积物的潜在生态危害指数,应高于只受少数几种重金属元素污染的沉积物;③重金属元素的毒性水平,即毒性高的重金属元素对潜在生态危害指数的数值有较大的贡献;④生态对重金属元素污染的敏感性,即对重金属元素污染敏感性大的生态因子应有较高的潜在生态危害指数。与单纯的重金属元素污染评价方法相比,潜在生态危害指数法兼顾了不同重金属元素的毒性大小和敏感性,能更全面、深入地反映重金属元

素污染的环境效应。

根据潜在生态危害指数法,某一区域水系沉积物中第*i*种金属的潜在生态危害系数 E_i 和水系沉积物中多种重金属元素的潜在生态危害指数 R_i 可分别表示为

$$E_i = T_r^i \cdot C_r^i \quad (2)$$

$$R_i = \sum_{r=1}^n E_r^i \quad (3)$$

$$C_r^i = C_r^i / C_n^i \quad (4)$$

式(2)、(3)、(4)中: C_r^i 为沉积物重金属元素浓度的实测值(表1), C_n^i 为计算所需的参比值(表2); T_r^i 为重金属元素*i*的毒性响应系数,反映其毒性水平和生物对污染的敏感程度。常见的几种重金属元素Hg、Pb、Cd、Cr、As、Cu、Zn的毒性响应系数分别为:40、5、30、2、10、5、1。重金属元素生态危害程度的划分标准见表4。

表4 水系沉积物中重金属元素的生态危害程度的划分标准

Table 4 Criteria for the classification of degrees of the ecological risk of heavy metals in stream sediments

生态危害系数或指数	生态危害程度
$E_r^i < 40$ 或 $R_i < 150$	轻微
$40 \leq E_r^i < 80$ 或 $150 \leq R_i < 300$	中等
$80 \leq E_r^i < 160$ 或 $300 \leq R_i < 600$	强
$160 \leq E_r^i < 320$ 或 $R_i > 600$	很强

根据(2)、(3)、(4)式,以邻区未受矿业污染的水系沉积物中的重金属元素含量均值为参照,计算出西峪河底泥重金属元素潜在生态危害系数及危害指数(表5)。

从单个重金属元素的潜在生态危害系数来看,Hg在整个西峪河中潜在生态危害均达到了很强的

程度,其平均值是潜在生态危害系数最大限值(320)的20余倍。西峪河河流底泥中Pb的潜在生态危害也十分严重,其指数变化范围为8.62~1098.15,均值为447.52,73.3%属于很强的生态危害。根据均值,Cd也达到了很强的生态危害程度,Cu的生态危害属于中等,Cr、As和Zn污染程度较低,生态危害轻微。整体上,污染程度顺序为 $Hg > Pb > Cd > Cu > Zn > As > Cr$ 。

以多个重金属元素潜在生态危害指数来评价,除西峪河的事眼岔沟属强生态危害外,其他河段均具有很强的生态危害,其指数值变化范围为526.06~37546.39,均值7205.81,约为潜在生态危害系数最大限值(600)的12倍。所以,无论是以单个重金属元素的潜在生态危害系数评价,还是以多个重金属元素的潜在生态危害指数来分析,西峪河河流底泥污染均极为严重,整个流域均处于极大的生态危害风险。

通过表1、表3和表5的对比分析不难发现,西峪河底泥重金属元素含量的分布、累积超标程度和潜在生态危害风险具有较强的一致性。从不同角度反

表5 西峪河底泥重金属元素的潜在生态危害系数和危害指数

Table 5 Potential ecological risk coefficients and indices of heavy metals in the bottom mud of the Xiyu River

样号	采样地点	E_r^i							R_i	生态危害程度
		Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn		
D1	东闯与西闯交汇处	8755.56	743.48	79.29	0.69	5.32	87.87	1.07	9673.29	很强
D2	西峪右岔口	7851.85	1098.15	750.00	0.93	1.62	161.69	7.34	9871.57	很强
D3	西木峪沟	331.85	9.98	170.36	0.33	4.17	7.38	1.98	526.06	很强
D4	西峪河	2266.67	386.19	321.43	0.76	2.09	46.40	3.50	3027.03	很强
D5	地里木沟	4829.63	259.56	75.00	1.79	1.75	39.02	1.60	5208.35	很强
D6	江水岔沟	36296.30	987.81	75.00	1.54	1.28	182.78	1.69	37546.39	很强
D7	事眼岔沟	447.41	8.62	21.43	1.97	1.21	8.61	0.53	489.77	强
D8	西峪中游	7244.44	627.36	237.86	1.03	0.81	61.86	2.02	8175.39	很强
D9	西峪下游	6044.44	821.77	310.71	0.83	1.75	72.76	3.84	7256.11	很强
D10	西峪口	1354.07	252.21	237.86	0.74	1.08	43.06	2.61	1891.62	很强
D11	墓塬村东	1807.41	373.90	235.71	0.43	0.56	52.55	2.06	2472.62	很强
D12	三岔口	14577.78	476.57	763.93	1.05	4.51	95.96	6.45	15926.24	很强
D13	铁沟口	1354.07	110.87	130.71	1.43	5.59	36.91	1.63	1641.22	很强
D14	西双桥	1807.41	415.62	278.57	0.74	4.58	47.63	3.84	2558.38	很强
D15	南城子	1511.11	140.71	107.14	2.24	6.26	54.13	1.48	1823.07	很强
	平均值	6432.00	447.52	253.00	1.10	2.84	66.57	2.78	7205.81	很强
	生态危害程度	很强	很强	强	轻微	轻微	中等	轻微		

映出金矿的开采、选矿等活动对地表水系统的污染已经达到十分严重的程度。表1中较高的重金属元素含量反映了西峪河底泥各种重金属元素的富集程度;表3列出的单项累积污染倍数进一步界定了西峪河重金属元素的富集原因完全为矿业活动所致;重金属元素的潜在生态危害评价表明,西峪河底泥的矿业污染对该流域的生态影响已经达到了很强的程度。

5 结论与建议

(1)Pb、Hg是西峪河底泥中主要的污染因子。

(2)西峪河水系沉积物中重金属元素的平均累积倍数从大到小依次为:Hg>Pb>Cu>Cd>Zn。

(3)单个重金属元素的潜在生态危害系数表明Hg、Pb、Cd具有较大的生态危害,Cr、As、Zn生态危害轻微。多个重金属元素的潜在生态危害指数反映出整个流域存在较大的生态风险。

(4)潜在生态危害指数法在重金属污染评价的基础上,考虑了不同重金属元素的毒性和敏感性,进一步诠释了不同重金属元素的环境效应。

致谢:感谢西北工业大学吴耀国教授在文章结构方面给予指导。

参考文献:

- [1]Allen H E. The significance of trace metal speciation for water sediment and soil quality criteria and standards [J]. *Science of Total Environment*, 1993, (Sup):23-45.
- [2]霍文毅,黄风茹,陈静生.河流颗粒物重金属污染评价方法比较研究[J]. *地理科学*, 1997, 17(1):81-86.
- [3]张鑫,周涛发,杨西飞,等.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.
- [4]Forstner U. Metal concentrations in recent lacustrine sediments [J]. *Arch Hydrobiol*, 1977, 80(2):173-19.
- [5]向勇,缪启龙,丰江帆.太湖底泥中重金属污染及潜在生态危害评价[J]. *南京气象学院学报*. 2006, 29(5):700-705.
- [6]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征[J]. *湖泊科学*, 2002, 14(3):235-241.
- [7]张江华,杨梅忠,徐友宁,等.金矿区水系沉积物重金属含量影响分析[J]. *黄金*, 2008, 29(1):49-51.
- [8]杨卓,李贵宝,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[J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24(5):945-951.
- ① 徐友宁,等.陕西潼关金矿区环境地质问题专题调查成果报告.西安地质矿产研究所, 2006.