

# 小秦岭金矿区水系沉积物重金属特征研究

张江华<sup>1</sup> 王葵颖<sup>2</sup> 赵阿宁<sup>1</sup> 陈华清<sup>1</sup> 柯海玲<sup>1</sup> 刘瑞平<sup>1</sup>

(1.中国地质调查局西安地质调查中心,陕西 西安 710054;2.陕西工程勘察研究院,陕西 西安 710068)

**摘要:**在划分小秦岭金矿区水系流域的基础上,研究了不同水系沉积物中 Hg、Pb、Cd、Cr、As、Cu、Zn 七种重金属的含量水平、分布特征;从各个元素的主要来源出发,分析了重金属含量水平高低不同的原因,探讨了金矿开发对重金属含量变异的影响,提出影响水系沉积物重金属赋存、迁移的相关因素。结果发现:①从地域上看,小秦岭北麓水系沉积物重金属含量普遍高于南麓,而在北麓表现出“中间高、两侧低”的特点;②从元素含量差异看,小秦岭金矿区水系沉积物中 Pb 含量最高且偏离背景值的程度最大,其次是 Hg,而 Cr、As 继续保持了低背景值的趋势。

**关键词:**小秦岭;水系沉积物;重金属;异常

**中图分类号:**P618.51;P595

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-3657(2013)02-0602-10

水系沉积物是沉积在水体底部的堆积物质的统称,是矿物、岩石、土壤的自然侵蚀产物,是生物活动及降解有机质等过程的产物,又称为底泥。河流中河水与底泥间重金属污染物处于一种动态平衡,而底泥作为主要自净化产物,可吸附并滞留大量污染物,成为上覆水体的主要二次污染源<sup>[1-6]</sup>。

小秦岭金矿区横跨陕豫(陕西省、河南省)两省四县(陕西省华阴市、潼关县、洛南县和河南省灵宝市),是中国第二大黄金产区。尽管不同矿区的地质环境条件有所差异,但小秦岭金矿区的矿业开发历程、开发方式、选矿工艺及矿区管理体制均能反映中国黄金产区的基本特点,由此产生的矿区重金属异常一定程度上也代表了中国金矿区的污染特征<sup>[7-9]</sup>。

小秦岭矿区采矿点和选厂多数位于河谷地带,河道成为接纳废石和尾矿沙等固体污染物的堆放点。并且多沉积于河床,改变了河流底泥原生成分、结构,此外,尾矿渣还多被水携带入黄河,增大了黄河重金属危害的风险。由此,研究底泥中重金属含量及分布,对于评价水系沉积物污染具有重要作用。

## 1 水系沉积物样品采集、分析

河流底泥的布样与河水样位置相同,共采集河流底泥样品 258 件,样点分布见图 1。分析项目包括 Hg、Pb、Cd、Cr、As、Cu、和 Zn 七种重金属。

实验室将风干样品,用高铝钵粉碎,搅拌均匀,使样品的粒度达到  $d=0.097\text{mm}(<200\text{目})$ 。测定严格按照地质实验室《1:20 万区域化探样品分析方法及质量管理》的测定方法进行。

**Cu、Pb、Cr、Zn 的测定:**称取 1~2 g 样品于光滑瓷坩埚中灼烧 1~2 h 后,用氢氟酸、高氯酸分解,制备成 5% 的盐酸溶液,利用原子吸收分光光度计测定。

**Cu、Pb 用原子吸收背景校正测定;**吸取部分溶液,在硫酸-硫酸钠溶液中测定 Cr;将溶液稀释 5 倍,测定 Zn。

**Cd 的测定:**称取 0.25 g 样品用盐酸、硝酸分解,制备成 2% 的硝酸溶液,直接进样,用石墨炉原子吸收法测定。分析采用 ZEEMAN/5000 型原子吸收分光光度计,用 HGA-500 程序控制石墨炉。

收稿日期:2012-06-18;改回日期:2012-10-26

基金项目:国土资源部公益性行业科研专项(201111020)和中国地质调查局大调查项目(1212011014012)资助。

作者简介:张江华,男,1979 年生,硕士,高级工程师,从事矿山地质环境研究与治理工作;E-mail:camel\_bird@126.com。

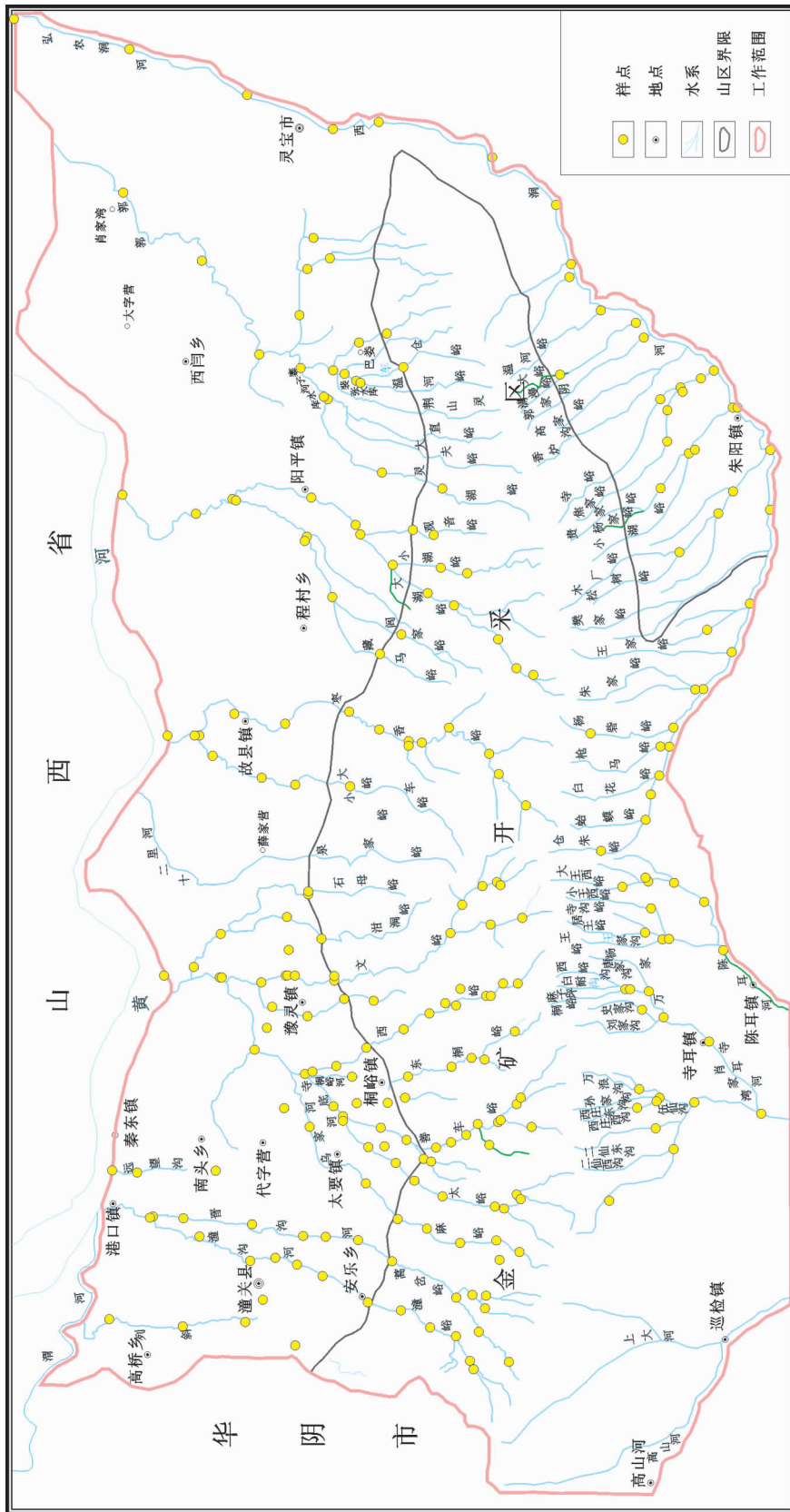


图 1 小秦岭金矿区水系沉积物样品分布图  
 Fig.1 Sketch map showing distribution of stream sediment samples

Hg的测定:准确称取一定量的样品用稀王水在水浴上加热分解,在1+1王水介质中,以空气作载气,产生的汞原子蒸气经无水氯化钙干燥管导入测汞仪吸收管中,在253.7 nm处进行冷原子吸收测定,记录峰值吸光度。使用仪器为AFS-230E(原子荧光)。

As的测定:称取0.1~1.0 g样品用王水分解,吸取部分清液,用硫脲-抗坏血酸作预还原剂,使五价砷还原为三价,再用硼氢化钾还原生成氢化物,然后用原子荧光法测定。仪器使用WFY-3型无色散原子荧光仪。

## 2 重金属含量分析及累积评价

依据小秦岭地形地貌、水文条件等因素,进行了水系划分,以便真实反映矿业活动对水系沉积物的影响。首先以小秦岭分水岭为界,分为小秦岭北麓、南麓水系,以黄河二级支流为评价单元,开展矿业活动引起的水系沉积物重金属响应情况分析和评价。

### (1) 列斜沟水系

在小秦岭金矿区,发育的渭河支流只有列斜沟一条水系。列斜沟源于小秦岭北麓翎峪,自南向北,流长近20 km,流速最大0.3 m/s,最小0.0026 m/s,流量最大0.054 m<sup>3</sup>/s,大部分河段常年断流,沟底以黄土为主,河水仅在多处以泉水形式出露排泄,水系沉积物不发育,共采集样品5件,重金属含量特征见表2。

从表2可以看出,列斜沟水系沉积物中Pb含量最高,43~660 mg/kg,平均值达219 mg/kg;其次为Zn,平均127 mg/kg。由变异系数发现,Hg元素的离散程度最大,说明受矿业活动干扰最强烈,Pb次之,也受到了强烈的人为干扰。Cr、As的原始含量

表1 小秦岭金矿区水系单元划分一览

Table 1 List of stream units in the Xiaolinling gold ore district

一级水系	二级水系	三级水系
	渭河	列斜沟
		潼沟河
	潼河	晋沟河
		西峪河
	双桥河	文峪河
		沟底河
	十二里河	枣香河
黄河	枣香河	车峪河
		横涧西河
	阳平河	横涧东河
		沙河
		洛河
		桑坪河
		陈耳河
	弘农涧河	

较低,基本反映了原生背景条件。

### (2) 潼河水系

潼河为黄河的二级水系支流,由潼沟河和晋沟河汇流而成,长26.93 km,汇水面积115.42 km<sup>2</sup>。潼沟河发源于潼关县南部的潼峪,晋沟河上游为蒿岔峪。河流侵蚀强烈,形成切割较深的沟谷。随着矿山资源的枯竭,沿河两岸选矿厂、尾矿渣相对较少。河水呈土黄色,悬浮物含量较高,浑浊不清,可见少量水生生物活动。该水系采集沉积物样品30件,分析结果见表3。

从表3可以看出,潼河水系沉积物中Pb和Zn的含量比较高,含量区间分别为52~10850 mg/kg、41~1688 mg/kg,平均值分别达2356.17 mg/kg和

表2 列斜沟水系沉积物重金属含量(mg/kg)特征

Table 2 Distributive features of heavy metals in stream sediments of Liexie water system

元素	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
算术平均值	2.00	219.00	0.38	51.74	8.71	74.00	127.00
最小值	0.16	43.00	0.20	42.40	7.14	31.00	85.00
最大值	6.23	660.00	0.90	71.20	10.90	166.00	176.00
标准偏差	2.37	231.91	0.27	10.02	1.40	47.16	38.84
变异系数	132.6 %	118.4 %	79.82 %	21.66 %	17.99 %	71.26 %	34.2 %
组中值	0.3	102	0.2	48.6	8.4	57	102
背景值	0.27	47.58	0.28	79.25	15.6	28.45	91.2

表 3 潼河水系沉积物重金属含量(mg/kg)特征

Table 3 Distributive features of heavy metals in stream sediments of the Tonghe River

元素	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
算术平均值	21.84	2356.17	2.13	53.36	4.80	284.30	396.33
最小值	0.37	52.00	0.20	12.30	0.32	24.00	41.00
最大值	91.80	10850.00	9.80	140.00	9.87	805.00	1688.00
标准偏差	25.23	2477.47	2.09	32.82	2.85	194.51	350.15
变异系数	117.47%	106.95%	99.74%	62.56%	60.43%	69.59%	89.86%
组中值	12.20	1225.50	1.30	48.90	4.67	226.50	269.00
背景值	0.27	47.58	0.28	79.25	15.6	28.45	91.2

396.33 mg/kg, Cu 的平均含量也达 284.3 mg/kg。从变异系数看, Hg 元素的离散程度最大, 说明受矿业活动干扰最强烈, Pb 和 Cd 也受到了强烈的人为干扰。而 Cr、As 的含量较西侧列斜沟有所升高, 变异系数增加, 与该水系曾经普遍发育矿业活动的情况基本吻合, 反映了具有较强的人为干扰因素。

### (3) 双桥河水系

双桥河为黄河的二级水系, 由西峪河、文峪河及沟底河三条河流汇流而成, 长度 29.73 km, 汇水面积 171.64 km<sup>2</sup>, 平均年径流量 3767 万 m<sup>3</sup>。西峪河由麻峪、太峪、善车峪、东桐峪、西峪及铁列沟汇流而成, 西峪河发源于小秦岭北麓上述五条峪道, 自南向北, 河长近 24.95 km。平均流量 0.12 m<sup>3</sup>/s, 流速 0.352 m/s, pH 为 7.25~8.72, 呈弱碱性。20 世纪 80 年代后, 随着小秦岭金矿的开发, 小金矿、个体采金者等纷纷将废渣、废液(里面含有剧毒氰化钠等)排入双桥河, 河水变成了黑色, 鱼虾绝迹, 人畜不能饮用, 成了一条“毒河”, 尤其对农作物灌溉影响很大。文峪河长 20.01 km, 由泔涧河、文峪、小文峪汇流而成, 自南向北, 河长近 24.95 km。平均流量 0.004 m<sup>3</sup>/s, 流

速 0.3 m/s, pH 为 7.23~8.2, 呈弱碱性。沟底河由石母峪和东胡峪汇流而成, 整体水质属于尚清洁河流。

双桥河水系共采集水系沉积物样品 88 件, 其重金属含量及累积情况见表 4。

从表 4 可以看出, 双桥河水系沉积物中 Pb、Zn、Cu 的含量比较高, 含量区间分别为 51~21825 mg/kg、32~9000 mg/kg、25~3240 mg/kg, 平均值分别达 3321.43 mg/kg、637.39 mg/kg、397.36 mg/kg, Hg、Cr 的平均含量分别达 24.6 mg/kg 和 48.76 mg/kg。从变异系数看, 呈现 Cd>Zn>As>Hg>Pb>Cu>Cr 的顺序, 而且除 Cr 外, 系数均超过了百分之百, 各种元素的离散程度很大, 说明双桥河水系沉积物受矿业活动干扰十分强烈, 重金属含量水平严重偏离小秦岭地区的背景值, 河流底泥组成以矿业排放的尾矿砂、氰化渣、汞碾渣为主, 完全改变了河道原生环境。

### (4) 枣乡河水系

枣乡河由小秦岭枣乡峪寺范沟, 长安岔、大峪、小峪等溪流汇聚, 自南向北, 流长 30 余千米, 流速 2~5 m/s, 流量最大 800 m<sup>3</sup>/s, 平均 1.1 m<sup>3</sup>/s, 是故县镇一条较大的河。20 世纪 90 年代以来, 枣香河水受

表 4 双桥河水系沉积物重金属含量(mg/kg)特征

Table 4 Distributive features of heavy metals in stream sediments of the Shuangqiao River

元素	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
算术平均值	24.60	3321.43	5.71	48.76	5.72	397.36	637.39
最小值	0.04	51.00	0.10	1.37	0.84	25.00	32.00
最大值	245.00	21825.00	89.60	178.00	99.90	3240.00	9000.00
标准偏差	43.25	4028.35	13.49	27.57	11.99	477.14	1411.73
变异系数	176.82%	121.98%	237.64%	56.19%	210.77%	120.77%	222.75%
组中值	9.14	2162.5	1.75	43.1	2.785	263.25	183
背景值	0.27	47.58	0.28	79.25	15.6	28.45	91.2



秦岭金矿及县乡冶炼厂淘金水影响,但由于流量较大,大部分河段物理性状正常,pH为7.38~8.24,属弱碱性,在选矿厂、居民地附近河段,河水混浊,鱼虾绝迹,影响了农田灌溉。该流域共采集22件水系沉积物样品,分析结果见表5。

由表5可知,枣乡河水系沉积物中Pb、Cu、Zn的含量较高,含量分别为35.58~1200 mg/kg、14.43~466.8 mg/kg、74.28~329.7 mg/kg,均值分别为395.11 mg/kg、237.33 mg/kg、152.04 mg/kg;与前述水系不同的是,较之其他元素,枣乡河水系沉积物中Cr和As含量相对略有升高,均值分别为33.98 mg/kg、3.42 mg/kg。Hg和Cd的平均含量仅为1.03 mg/kg和0.75 mg/kg。从变异系数看,各元素的离散程度基本相当,在49.27%~71.84%变动,且多集中于60%左右,说明枣乡峪水系沉积物受矿业活动影响较小或比较单一。

#### (5) 阳平河水系

阳平河水系由横涧东河和横涧西河组成。横涧东河发源于小湖峪以及大湖峪的东岔、西岔,由南向北,流经蜜蜂湾、桑园村、阳平镇、横涧、张村,最后汇

入黄河。阳平河全长36.20 km,其中横涧东河23余千米。常年流量较小,河水水质非常差,水色主要为青灰色、灰黄、淡绿色、土黄色等,浑浊,物理性状较差。河水pH为8.08~8.55,呈碱性。选矿排水直排入河道,新旧选矿渣随处堆放。

横涧西河发源于西沟的藏马峪、闫家峪以及南沟,由南向北,流经焕池、秦南村,最后到横涧与横涧东河汇合。横涧西河19.01 km。上游流量较小,仅0.009~0.025 m<sup>3</sup>/s,平均流量在0.011 m<sup>3</sup>/s,闫家峪、南沟物理性状较差,水色浅黄色,藏马峪水质较好,到下游河水流量增大,2.19~3.16 m<sup>3</sup>/s,水质变差,水色变为土黄色,氰化和选矿活动增多。河水pH为7.85~8.46,呈碱性。

该水系共采集水系沉积物样品22件,其重金属含量特征及累积程度见表6。

从表6可以看出,阳平河水系沉积物中Cu含量最高,含量区间36.25~895 mg/kg,平均值达250.51 mg/kg,其次为Pb,均值159.11 mg/kg;Hg、Cd和As的含量绝对值较低,平均分别为1.21 mg/kg、0.46 mg/kg和3.49 mg/kg。根据阳平河水系沉积

表5 枣乡河水系沉积物重金属含量(mg/kg)特征

Table 5 Distributive features of heavy metals in stream sediments of the Zaoliang River

元素	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
算术平均值	1.03	395.11	0.75	33.98	3.42	237.33	152.04
最小值	0.11	35.58	0.14	13.72	0.65	14.43	74.28
最大值	2.32	1200.00	2.29	98.53	8.77	466.80	329.70
标准偏差	0.72	266.99	0.46	16.36	2.21	142.11	74.07
变异系数	71.84%	69.16%	62.69%	49.27%	66.09%	61.29%	49.86%
组中值	0.84	360.35	0.65	32.03	3.35	245.95	135.20
背景值	0.27	47.58	0.28	79.25	15.6	28.45	91.2

表6 阳平河水系沉积物重金属含量(mg/kg)特征

Table 6 Distributive features of heavy metals in stream sediments of the Yangping River

元素	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
算术平均值	1.21	159.11	0.46	31.32	3.49	250.51	90.04
最小值	0.11	17.50	0.13	12.76	0.80	36.25	61.56
最大值	2.43	371.00	1.21	65.28	10.80	895.00	145.20
标准偏差	0.75	92.38	0.25	17.02	2.79	231.00	22.18
变异系数	63.68%	59.43%	56.49%	55.62%	81.73%	94.38%	25.21%
组中值	1.34	149.60	0.45	25.52	2.26	182.10	85.82
背景值	0.27	47.58	0.28	79.25	15.6	28.45	91.2

物重金属含量的变异系数,Cu 的离散程度最高,达到 94.38%,Zn 的离散程度最低,变异系数为 25.21%,其他元素变异程度基本相当,变异范围分布于 55%~80%。

(6)沙河水系

沙河整体水质物理性状较好,pH 为 7.02~8.8,水生生物多样,水生生态良好,有大量鱼类、藻类、浮游生物及野天鹅等,主要用于农业灌溉。反映出沙河流域整体环境质量较好。局部污染断面河水色泽为浅黄色、浅灰色,上游有选矿排水直排河道,及农药用品丢弃河中,推测河水的污染主要来自矿业和农业活动。

沙河流域共采集水系沉积物样品 19 件,其重金属含量特征及累积程度见表 7。

从表 7 可以看出,沙河水系沉积物中 Pb 含量最高,含量区间 16.1~733 mg/kg,平均值达 144.15 mg/kg,其次为 Zn,均值 91.22 mg/kg; Cr 和 Cu 平均含量分别为 52.64 mg/kg、39.91mg/kg。从变异系数考虑,Hg、Pb 的离散程度最高,分别达到 148.27%和 145.36%,Cd、Cu 的离散程度居中,分别为 75.86%和 82.37%,As、Cr 较低,变异系数为 34.07%和 43.19%。整体上,沙河水系沉积物重金属的含量离散

程度比较高。

(7)弘农涧河水系

弘农涧河是黄河一级支流,发源于苍珠峪。上游为西涧河,途径蛤蟆峪、白花峪、枪马峪等几十条峪道汇流入河,绕研究区先由西向东再向北径流,流经朱阳镇、城关镇。河长 81.28 km。河水流量为 0.0002~0.24 m<sup>3</sup>/s,平均流量为 0.051 m<sup>3</sup>/s,平均流速为 0.36 m/s,有龙首渠工程、窄口水库各一座,河水多用于灌溉农田、人居饮用及畜牧,大部分水质清澈,水生生物多样,河谷宽 1.5~30 m,河漫滩中分布大量的卵砾石和冲积物,淤泥较少,磨圆好,分选性差,河床切割深度 3~15 m/s,草本、水生植物发育,西涧河上游及下游主河道多见氧化活动和生活污染,河水 pH 为 7.01~8.35,呈中—碱性。

该水系采集水系沉积物样品共 44 件,其重金属含量特征及累积程度见表 8。

从表 8 可以看出,弘农涧河水系沉积物中 Pb、Cu、Zn 含量较高,含量区间分别为 19.2~7.190 mg/kg、17.3~1820 mg/kg、45.6~2680 mg/kg,平均值分别达 367.15 mg/kg、215.89 mg/kg、282.09 mg/kg,Hg、

表 7 沙河水系沉积物重金属含量(mg/kg)特征

Table 7 Distributive features of heavy metals in stream sediments of the Shahe River

元素	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
算术平均值	0.66	144.15	0.65	52.64	7.52	39.91	91.22
最小值	0.04	16.10	0.14	30.20	3.54	17.10	44.70
最大值	3.88	733.00	1.91	139.00	12.70	156.00	215.00
标准偏差	0.95	203.95	0.48	22.13	2.49	32.00	46.52
变异系数	148.27%	145.36%	75.86%	43.19%	34.07%	82.37%	52.39%
组中值	0.20	35.60	0.41	49.20	6.29	29.40	69.90
背景值	0.27	47.58	0.28	79.25	15.6	28.45	91.2

表 8 弘农涧河水系沉积物重金属含量(mg/kg)特征

Table 8 Distributive features of heavy metals in stream sediments of the Hongnongjian River

元素	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
算术平均值	6.23	367.15	10.96	46.13	8.13	215.89	282.09
最小值	0.12	19.20	0.18	18.70	0.34	17.30	45.60
最大值	104.00	7190.00	204.00	74.30	37.80	1820.00	2680.00
标准偏差	17.00	1082.10	34.59	11.25	7.43	378.03	464.98
变异系数	275.98%	298.14%	319.18%	24.67%	92.45%	177.12%	166.74%
组中值	0.90	77.45	1.09	45.60	6.40	66.00	104.50
背景值	0.12	33.47	0.38	51.80	6.56	26.90	81.60

Cr、Cd 和 As 含量较低, 均值分别为 6.23 mg/kg、46.13 mg/kg、10.96 mg/kg、8.13 mg/kg。

弘农涧河水系沉积物各重金属的变异系数较大, Hg、Pb、Cd 三元素的变异系数达到 300%左右, 离散程度相当高, 说明这三种重金属含量受到了矿业活动的严重干扰; Cu 和 Zn 的变异系数次之, 分别达到 177.12%和 166.74%, Cr 的离散程度最低, 变异系数仅为 24.67%。

#### (8)洛河水系

洛河调查区内包括伍仙河和寺耳河两个支流, 整体属于清洁水质。其中伍仙河整体水质物理性状较好, pH7.5~8.29, 水生生物多样, 河床草本植物发育, 河流泥质含量较少, 到下游河床断面变宽。西庄西沟上游有金矿开采导致河流污染, 同时未污染河段西庄东沟、万浪沟上游有铁矿开采活动, 存在被污染的风险。

寺耳河发源于陕西洛南县寺耳镇的杨树岭, 两条支流, 8 条支沟, 由北向南, 流经胡家村、史家沟村、胭脂河村、寺耳镇, 最后到庄子河与伍仙河汇合。寺耳河 15.05 km, 过水断面 0.3~4 m, 深 0.05~1 m, 平均流量 0.03 m<sup>3</sup>/s, 平均流速 0.24 m/s, 无色无味, 透明, 含有大量鱼类、藻类、浮游生物等, 河床宽阔, 3~80 m, 切割较小, 1~10 m, 大量砂砾石, 砾径为 20~30 cm, 磨圆度、分选性一般, 分布大量冲积物, 河床草本植物发育。河水 pH 为 7.43~8.65, 呈碱性。

该水系采集水系沉积物样品共 28 件, 其重金属含量特征及累积程度见表 9。

由表 9 可知, 洛河水系沉积物中 Pb 含量最高, 远远超出了其他六种重金属, 其最大值达 8000 mg/kg, 平均值达 2150.74 mg/kg。其他重金属的含量呈现 Cu>Zn>Cr>Hg>As>Cd 的关系, Cu 和 Zn 均值

分别为 356.83 mg/kg 和 198.43 mg/kg, 而 Hg、As、Cd 含量均值出现在几个 10<sup>-6</sup> 量级上, 明显偏低。从变异系数看, 洛河水系沉积物各重金属的离散程度基本维持在 100%左右, 仅 Cr 的离散系数为 33.75%, 较好地保持了原生重金属的含量水平, 也从另一方面说明了该流域 Pb 高水平含量, 是由于本区特有的地球化学背景造成的, 这也就解释了洛河流域水质物理性状良好, 而个别重金属含量极高的问题。

### 3 水系沉积物重金属含量异常值的检验

异常值对于数据统计分析结果的准确性具有不良影响, 重视异常值的检测, 分析其产生的原因, 为发现问题、改进方法提供了契机。箱线图法是检验数据中异常值的最常用方法, 既可用于服从正态分布数据异常值的判断, 也可以用作不服从正态分布数据异常值的判断, 能够有效克服数据中存在异常值时, 不能测出异常值的掩盖效应。

从小秦岭金矿区水系沉积物中七种重金属含量的箱线图(图 2)可以发现, Pb、Cu 和 Zn 的极大值偏离整体数群的程度最大, 均达到了 2000 以上, 其异常值属于极端离群值。从整体含量的集中度看, Cd 的四分位数集中于个位数字, 四分位距很小, 说明该元素含量分布十分集中, 其异常值属于温和离群值; 从箱型和中位数的位置可以看出, Cr、As 含量整体上呈正态分布, 反映了研究区该元素的原生环境含量。Hg、Pb、Cu、Zn 四种元素含量呈偏态分布, 而且均为左偏态, 并且其最小值均处于下四分位线附近、最大值均超出上四分位线几个数量级, 反映出这几种元素含量在原生地球化学丰度的基础上, 受到了

表 9 洛河水系沉积物重金属含量(mg/kg)特征

元素	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
算术平均值	7.29	2150.74	1.19	45.83	5.74	356.83	198.43
最小值	0.08	28.40	0.27	20.10	0.39	19.70	51.10
最大值	27.20	8000.00	7.28	66.60	32.50	1240.00	884.00
标准偏差	7.16	2227.42	1.31	15.19	6.13	348.56	202.15
变异系数	99.98%	105.47%	112.16%	33.75%	108.65%	99.47%	103.74%
组中值	4.34	1096.00	0.85	49.90	4.81	187.50	114.00
背景值	0.12	33.47	0.38	51.80	6.56	26.90	81.60

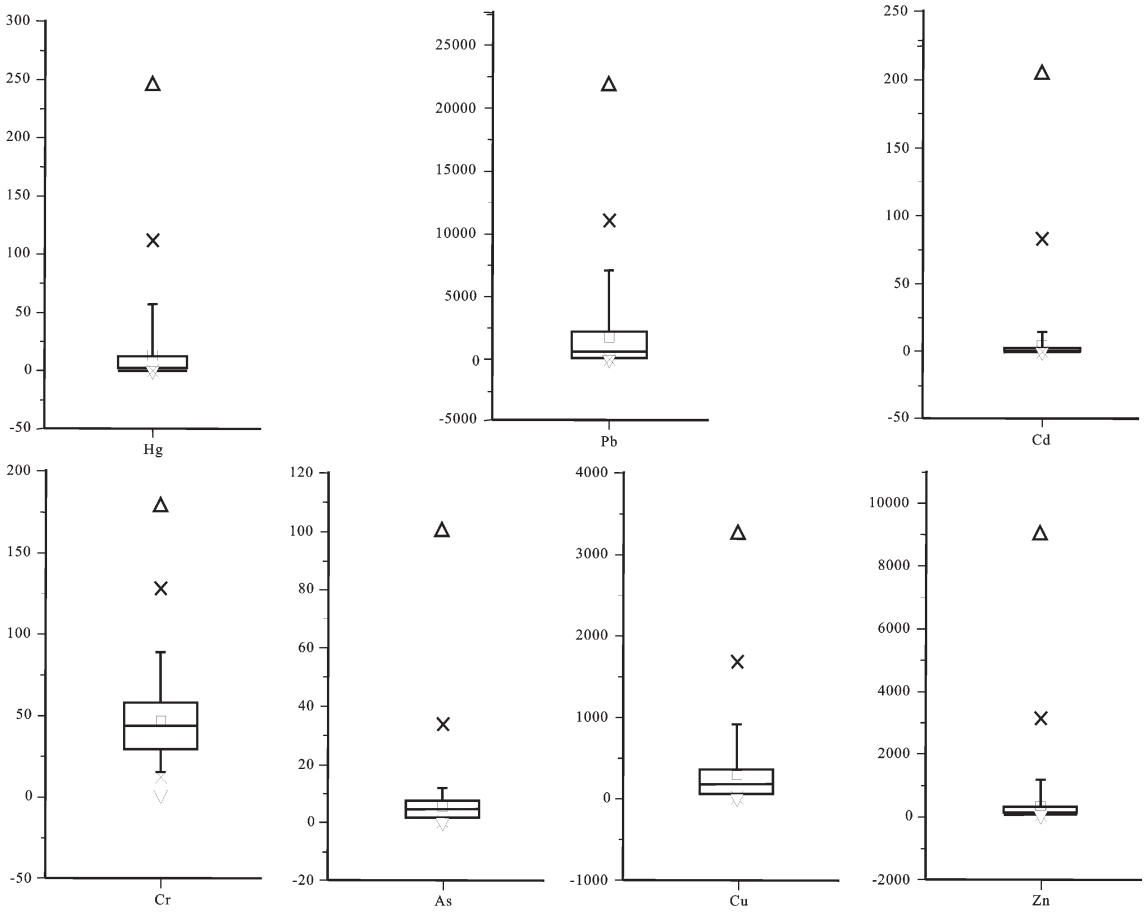


图 2 小秦岭金矿区水系沉积物重金属含量箱线图(单位:mg/kg)

Fig.2 Content box chart of heavy metals in stream sediments of the Xiaojinling gold ore district

外界的强烈干扰，而且其强度随着地理位置的不同存在较大的差异。

#### 4 讨论与结论

小秦岭金矿区内发育的 8 条水系，其沉积物重

金属含量均产生了矿业开发活动的响应。但响应的区域、程度和元素不尽相同(表 10)。

(1)从地域上看,小秦岭北麓各水系沉积物重金属的含量普遍高于南麓水系。这可能是因为开发方式、强度基本相同的前提下,北麓开阔的地域为黄

表 10 各条水系重金属平均含量(mg/kg)对比

Table 10 Distributive features of heavy metals in stream sediments of the Luohe River

元素	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
列斜沟	2.00	219.00	0.38	51.74	8.71	74.00	127.00
潼河	21.84	2356.17	2.13	53.36	4.80	284.30	396.33
双桥河	24.60	3321.43	5.71	48.76	5.72	397.36	637.39
枣乡河	1.03	395.11	0.75	33.98	3.42	237.33	152.04
阳平河	1.21	159.11	0.46	31.32	3.49	250.51	90.04
沙河	0.66	144.15	0.65	52.64	7.52	39.91	91.22
弘农涧河	6.23	367.15	10.96	46.13	8.13	215.89	282.09
洛河水系	7.29	2150.74	1.19	45.83	5.74	356.83	198.43



金的选矿、冶炼提供了场所。北麓的多条水系呈现“中间高,两侧低”的特点,即陕豫接壤附近水系沉积物重金属含量最高,向东西两侧逐渐降低。这是由中部黄金储量大、开发强烈和行政接壤区管理混乱共同造成的。

(2)分析不同的重金属元素发现,小秦岭金矿区水系沉积物中 Pb 的含量最高,并且偏离背景值程度较大,这反映了本区原岩中富含铅,开采活动改变了铅的赋存条件、增加了铅的活动迁移能力从而大量进入地质环境的特点。其次为 Hg 元素,其含量较低,但其变异程度更大,主要是因为本区汞的背景值很低,而在选矿和冶炼过程中人为添加汞作为提金剂进入环境;Cr 和 As 在小秦岭矿区的背景值极低,矿业活动对其基本未产生影响。Cd、Cu 和 Zn 均为矿业开发改变其原生赋存条件,其迁移、富集能力均有所增加,故含量较矿业未影响区有所升高。

本研究对小秦岭金矿区水系沉积物 7 种重金属含量水平进行了测量,对其累积程度和各种重金属之间的相互作用有待进一步研究。此外,沉积物中重金属的释放特性与赋存状态密切相关,除 pH 外,氧化还原条件、温度、DO、天然及人工络合剂等对沉积物中重金属的结合形态和重金属的释放也存在不同程度的影响。

## 参考文献 (References):

- [1] 郁亚娟, 黄宏, 王晓栋, 等. 淮河沉积物中重金属的测定和污染评价[J]. 环境科学研究, 2003, 16(6):26-28.  
Yu Yajuan, Huang Hong, Wang Xiaodong, et al. Sedimentary heavy metal pollution in the Huaihe Rive [J]. Research of Environmental Science, 2003, 16(6):26-28(in Chinese with English abstract).
- [2] 滑丽萍, 华璐, 高娟, 等. 中国湖泊底泥的重金属污染评价研究[J]. 土壤, 2006, 38(4):366-373.  
Hua Liping, Hua Luo, Gao Juan, et al. Heavy metal pollution of sediments of lakes in China [J]. Soil, 2006, 38 (4):366-373 (in Chinese with English abstract).
- [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, 2005, 28(11):1419-1423.  
Zhang Xin, Zhou Taofa, Yang Xifei, et al. Study on assessment methods of heavy metal pollution in river sediment [J]. Journal of Hefei University of Technology, 2005, 28(11): 1419-1423 (in Chinese with English abstract).
- [4] 赵丽霞, 张勇, 雷亚春. 汾河底泥中重金属元素污染状况研究[J]. 光谱实验室, 2005, 22(1):106-108.  
Zhao Lixia, Zhang Yong, Lei Yachun. Study on the heavy metal pollution in sediment of Fen River [J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2005, 22 (1):106-108 (in Chinese with English abstract).
- [5] 汤红亮, 王超, 李勇, 等. 里运河底泥重金属空间分布特征 [J]. 河海大学学报, 2006, 34(1):18-20.  
Tang Hongliang, Wang Chao, Li Yong, et al. Spatial distribution of heavy metals in sediments of Liyun River [J]. Journal of Hohai University, 2006, 34(1):18-20(in Chinese with English abstract).
- [6] 龚玲兰, 奚小双. 河流重金属的分布与迁移转化研究进展 [J]. 广东微量元素科学, 2006, 13(11):1-6.  
Gong Linglan, Xi Xiaoshuan. Progress of studies on the distribution and migration-transformation of heavy metals in river systems [J]. Guangdong Trace Elements Science, 2006, 13(11):1-6 (in Chinese with English abstract).
- [7] 张江华, 杨梅忠, 徐友宁, 等. 金矿区水系沉积物重金属丰度影响分析[J]. 黄金, 2008, 29(1):49-51.  
Zhang Jianghua, Yang Meizhong, Xu Youning, et al. Analysis on impaction of heavy metal abundance in fluvial sediment of gold mining district [J]. Gold, 2008, 29(1):49-51 (in Chinese with English abstract).
- [8] 陈国光, 梁晓红, 周国华, 等. 土壤元素污染等级划分方法及其应用[J]. 中国地质, 2011, 38(6):1631-1639.  
Chen Guoguang, Liang Xiaohong, Zhou Guohua, et al. Grade division method for soil geochemical contamination and its application [J]. Geology in China, 2011, 38 (6):1631-1639 (in Chinese with English abstract).
- [9] 聂海峰, 李括, 彭敏, 等. 松花江底积物中多环芳烃生态风险评价 [J]. 中国地质, 2011, 38(4):1102-1110.  
Nei Haifeng, Li Kuo, Peng Min, et al. A discussion on ecological risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in some bottom sediments of the Songhua River [J]. Geology in China, 2011, 38 (4):1102-1110 (in Chinese with English abstract).

## Heavy metal characteristics of stream sediments in the Xiaoqinling gold ore district

ZHANG Jiang-hua<sup>1</sup>, WANG Kui-ying<sup>2</sup>, ZHAO A-ning<sup>1</sup>,  
CHEN Hua-qing<sup>1</sup>, KE Hai-ling<sup>1</sup>, LIU Rui-ping<sup>1</sup>

(1. Xi'an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Shaanxi Institute of Engineering Prospecting, Xi'an 710068, Shaanxi, China)

**Abstract:** Based on the division of water systems in the Xiaoqinling gold ore district, the authors studied the concentrations and distribution of seven kinds of heavy metals i.e., Hg, Pb, Cd, Cr, As, Cu and Zn, in the stream sediments and, in the light of the source of each element, analyzed the causes for different concentrations of these elements and probed into the influence of the gold mining on the variation of heavy metal concentrations. On such a basis, the factors affecting the occurrence and migration of heavy metals in stream sediments were revealed. Some conclusions have been reached: 1. In the light of regional distribution, the heavy metal concentrations of the stream sediments at the northern foot of the Xiaoqinling Mountains are generally higher than those at the southern foot, and the concentrations at the northern foot show characteristics of "high in the middle and low on both sides". 2. In the light of the differences in element content in the stream sediments of the Xiaoqinling gold ore district, Pb has the highest content and most remarkably deviates from the background value, followed by Hg, whereas Cr and As continually maintain the low background values.

**Key words:** Xiaoqinling Mountains; stream sediments; heavy metal; anomaly

---

**About the first author:** ZHANG Jiang-hua, male, born in 1979, master and senior engineer, engages in the study and restoration of mining geological environment; E-mail: camel\_bird@126.com.