

doi: 10.11720/wtyht.2019.1421

张钊熔,段星星,夏明哲.白银东大沟水体和底泥中重金属污染评价[J].物探与化探,2019,43(3):649-657.http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1421

Zhang Z R, Duan X X, Xia M Z. Contamination situation and evaluation of heavy metal pollution in water and sediments of Dongdagou area, Baiyin[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(3): 649-657. http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1421

白银东大沟水体和底泥中重金属污染评价

张钊熔¹, 段星星², 夏明哲¹

(1. 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 中国地质调查局 西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘要: 为了给白银东大沟河道生态治理和底泥处理风险评价提供科学参考, 分析了东大沟水体中 Cu、Pb、Zn、Cd、As、Hg 和底泥中 Cr、Zn、Pb、Cu、Cd、Hg 重金属的含量水平、分布特征及含量变化趋势, 并采用内梅罗综合指数法和潜在生态风险指数法分别对水体和沉积底泥中的重金属污染累积程度、潜在风险进行评价。研究表明, 东大沟水体中 6 种重金属平均含量在 0.005 7~4.796 0 mg/L 之间, 其含量大小依次为 Zn>Cu>Cd>Pb>As>Hg。随水流方向, 水体中 As 含量表现为升高趋势, 其余重金属含量则呈显著降低趋势。底泥中 6 种重金属平均含量在 (61.6~5 999.3)×10⁻⁶ 之间, 其含量大小依次为 Zn>Pb>Cu>Cd>Cr>Hg。东大沟河段底泥中的重金属含量有起伏, 但整体表现为随水流方向含量显著降低的趋势。参照相关评价标准, 东大沟水体的主要重金属污染物为 Cu、Pb、Zn、Cd, 其单因子污染程度 Cd>Pb>Zn>Cu, 综合指数评价表明东大沟水体存在不同程度的污染; 底泥主要重金属污染物为 Cd、Hg、Pb、Cu, 为复合污染, 其生态危害风险程度 Cd>Hg>Pb>Cu>Zn>Cr, 潜在生态风险指数评价表明东大沟大部分河段底泥潜在生态风险指数为严重。

关键词: 重金属污染; 水体; 底泥; 污染评价; 防控与治理; 东大沟

中图分类号: P632 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2019)03-0649-09

0 引言

重金属通过工、农业污水的排放, 地表径流, 大气沉降等方式进入河流中, 然后经吸附、络合、絮凝、沉降等作用沉积在河流底泥中, 当 pH、温度等水环境条件发生变化或受到扰动时又会从底泥中活化释放进入水体, 对河流水质造成二次污染^[1-4]。此外, 即使水体重金属浓度处于较低水平, 也可在藻类和底泥中积累, 被鱼和贝体摄取, 经食物链富集, 从而影响到人体健康^[5]。如日本的水俣病就是因为制碱工业排放的废水中含有汞, 在经生物作用转变成有机汞之后引起的; 又如痛痛病, 是由炼锌工业和电镀工业所排放的镉所致。因此, 国内外学者对受人为活动影响的河流水体及其底泥重金属污染进行

了大量研究^[6-9]。

白银市厂矿企业较多, 之前粗放的经济模式对周边生态环境造成了一定影响^[10]。张素娣等^[11]以《污水综合排放标准》(GB 8978-1996) 对部分水体污染情况进行评价, 认为东大沟流域的重金属污染源主要为白银有色集团股份有限公司的下属生产厂矿, 包括深部铜矿、多金属选矿厂、第三冶炼厂、铜业公司和西北铅锌冶炼厂。李小虎等^[12]对东大沟水体和底泥进行研究, 认为整个东大沟水体和沉积物中 Cd、Cu、Pb、Zn 有不同程度污染。张丹等^[13]对水体进行监测, 结果多个断面水质监测数据均不能满足《污水综合排放标准》(GB 8978-1996) 中一级标准的要求。

笔者认为, 东大沟作为地表流水, 以《地表水环境质量标准》监测评价东大沟水体更为恰当。因此

收稿日期: 2018-11-14; 修回日期: 2019-02-25

基金项目: 长安大学中央高校基本科研业务费专项资金(300102279211)

作者简介: 张钊熔(1994-), 男, 硕士研究生, 地球化学专业。Email: 2235406061@qq.com

通讯作者: 夏明哲(1979-), 男, 副教授, 博士, 主要从事地球化学研究工作。Email: zymzxia@chd.edu.cn

笔者在研究区进行了样点布设和重金属种类分析,并对东大沟支流进行分析评价,测定了水体中 Cu、Pb、Zn、Cd、As、Hg 和底泥中 Cr、Zn、Pb、Cu、Cd、Hg 重金属的含量水平,研究其分布特征及含量变化趋势,并分别采用内梅罗综合指数法和潜在生态风险指数法评价了水体和沉积底泥中的重金属污染累积程度和潜在风险,以期东大沟河道污染现状和底泥处理风险评价提供科学参考。

1 研究区概况

白银位于甘肃省会兰州东北方向 90 km 处,气候干旱少雨,区域内矿产资源丰富,工业以化工、矿产开采、冶炼为主,是我国重要的矿业及多品种有色金属加工基地。东大沟源自于白银公司露天矿,自北向南穿过白银市区东侧,属黄河一级支流,全长约 38 km,流域面积 236 km²。沟内地表水沿途汇集了主要工矿企业的工业废水及市区东部城市生活污水。此外,在东大沟下游有一支流汇入。由于河道两侧区域存在工矿活动(冶炼厂,尾矿库等),因此东大沟区域重金属富集强烈。白银市水资源较为紧缺,东大沟污水曾在一段时期内进行农田灌溉,造成河流两侧耕地一定程度的重金属污染,并使得东大沟流域产出的农作物受到不同程度的污染^[14-15]。此外,河道底泥中重金属污染物逐年累积,造成东大沟全线河道、河床、河滩地重金属污染厚度高达 1 m 左右,成为黄河流域最大的重金属“污染源”^[16]。由此看来,东大沟重金属累积不仅使流域内农田及周围生态环境受到威胁,还使下游面临水资源利用和水污染危害的风险。

2 样品采集与分析

以白银市为界,可将东大沟划分成上游区(包含白银市)和下游区,工业活动污水排放主要集中在上游。东大沟水样采集点布设首先遵循《水质采样技术规程》(SL187-96)^[17]要求,其次考虑东大沟水体实际情况。由于东大沟上游受人为活动干扰较强,所以无法在其源头布设对照断面。因此,在东大沟上游所布设的水体采样断面皆为控制断面。自东大沟下游开始,没有污水进入水体,所设水体采样断面为削减断面。在东大沟上游布设控制断面 7 处,获得 7 件水样,下游布设削减断面 5 处,获得水样 5 件。由于东大沟流域耕地有污水灌溉历史,但现在已经全部使用黄河水灌溉,所以额外采取黄河灌溉

水样 2 件。总计采集水样 14 件,其中 S1、S2、S3、S5、S6、S12、S14 为上游水样,S15~S18、S20 为下游水样,G16、G19 为两个黄河灌溉水样。依据《农田灌溉水质标准》(GB5084-92)^[18]评价标准,两件黄河灌溉水样分析数据显示,G19 符合灌溉水样标准,G16 中 Hg 含量为 0.001 14 mg/L,大于农田灌溉水质标准 0.001 mg/L,因此灌溉水需要做更详细的调查工作。

由于东大沟水面较窄,多段水面小于 5 m,水体浅,仅 0~2 m,在采集断面水样时,于水体中泓线下水面与底面中间处使用聚乙烯容器采集。灌溉水样采自农田灌溉水渠,采集操作与东大沟水样采集方式一致。

东大沟底泥采样布设整体与水体断面一致,并在水体断面间进行适当加密。在东大沟上游采集底泥样 13 件,下游采集底泥样 5 件,总计 18 件。底泥样采集使用蚌式采样器,样品采集后在室内常温下风干,去掉杂物及石块后,用玛瑙碾钵将样品研细过 100 目尼龙筛,用四分法进行缩分得到样品,装入聚乙烯塑料袋储存备用。采样点位见图 1。

将处理后的样品送至国土资源部合肥矿产资源监督检测中心分析测试。采用玻璃电极法测定 pH 值。重金属元素分别采用等离子体质谱法测定 Zn、Pb、Cu、Cd,原子荧光光谱法测定 Hg、As,X 射线荧光光谱法测定 Cr,等离子体发射光谱法测定 Ni。通过平行样测试,各分析项目相对偏差结果符合质量控制要求,并且所有受检元素回收率相对误差皆在允许误差之内,证明各测定项目准确可靠。

3 评价方法

3.1 内梅罗综合污染指数法

内梅罗污染指数法是当前国内外进行环境质量综合污染评价的最常用方法之一,是一种兼顾极值或突出最大值的计权型多因子环境质量指数,并且能够评价水体受重金属综合污染的情况。以《内梅罗水质指数污染等级划分标准》为依据,对水体中重金属指标参数进行水质综合评价^[19-20]。计算公式为:

$$P_i = C_i/S_i,$$

$$P_N = \{[(P_{i均})^2 + (P_{i最大})^2]/2\}^{1/2}.$$

式中: P_i 为重金属 i 的单项污染指数, C_i 为样品中重金属 i 的实测值, S_i 为重金属 i 的评价标准, $P_{i均}$ 、 $P_{i最大}$ 分别是平均单项污染指数和最大单项污染指数, P_N 为内梅罗污染指数。污染指数分级标准见表 1。

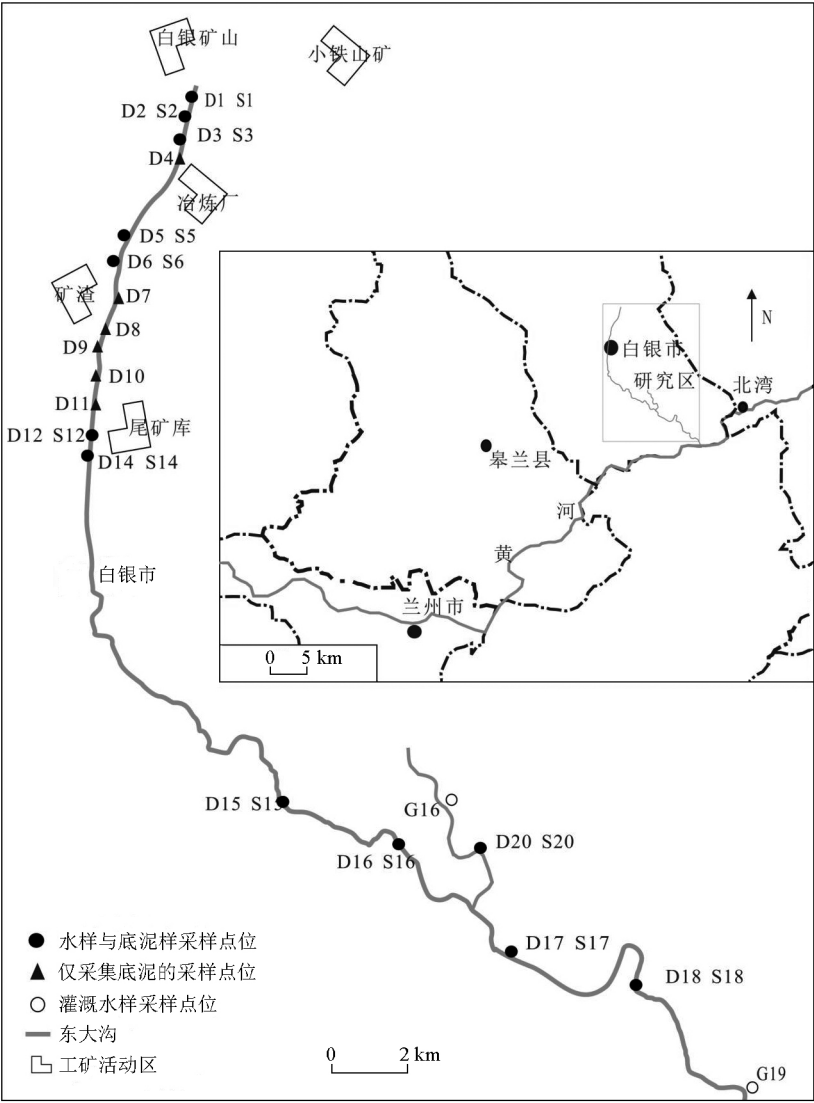


图 1 研究区范围及采样位置示意

Fig.1 Satellite image map of the reserch and samplings ares

表 1 内梅罗污染指数分级标准

Table 1 Classification of pollution degree

等级划分	内梅罗污染指数	污染等级
I	$P_N \leq 0.7$	清洁(安全)
II	$0.7 < P_N \leq 1.0$	尚清洁(警戒线)
III	$1.0 < P_N \leq 2.0$	轻度污染
IV	$2.0 < P_N \leq 3.0$	中度污染
V	$P_N \geq 3.0$	重度污染

本次地表水评价标准采用《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)^[21]中的IV级标准。

3.2 潜在生态风险指数法

1980 年瑞典学者 Hakanson 建立了一套应用沉积学原理评价水系沉积物重金属污染及生态危害的方法,即潜在生态危害指数法^[22]。该方法综合考虑了环境化学、生物毒理学、生态学等方面的影响,利

用毒性响应系数反映各种重金属元素的毒性效应,即考虑了重金属自身毒性及可能产生的环境生态危害,并用定量的方法划分出重金属潜在危害的程度,其评价结果为环境改善提供依据^[23]。目前该方法被广泛应用于沉积物生态风险评价,并成为国际上土壤(沉积物)重金属评价的方法之一^[24]。计算公式如下:

$$C_f^i = C_{\text{表}}^i / C_n^i,$$

$$E_r^i = T_r^i \cdot C_f^i,$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n T_r^i \cdot C_f^i。$$

式中: C_f^i 为重金属 i 的污染系数, $C_{\text{表}}^i$ 为底泥中重金属 i 的实测浓度, C_n^i 为重金属 i 的背景值; T_r^i 为重金属 i 的毒性响应系数,其中 Hg、Cd、Pb、Cu、Cr 和 Zn 的毒

性响应参数分别为 40、30、5、5、2 和 1; E_r^i 为重金属 i 的潜在生态风险指数;RI 为底泥中多种重金属的联合潜在生态风险指数。污染指数分级标准见表 2。

笔者运用潜在生态风险指数评价东大沟底泥中重金属的潜在生态风险,评价指标选用甘肃省土壤背景值^[25]。

表 2 潜在生态污染指数评价分级
Table 2 Classification of potential ecological risk index

单因子污染物污染指数 C_f^i		潜在生态风险参数 E_r^i		潜在生态风险指数 RI	
分级范围	等级	分级范围	等级	分级范围	等级
$C_f^i<1$	低度	$E_r^i<40$	低度	$RI<150$	低度
$1\leq C_f^i<3$	中度	$40\leq E_r^i<80$	中度	$150\leq RI<300$	中度
$3\leq C_f^i<6$	重度	$80\leq E_r^i<160$	较重	$300\leq RI<600$	重度
$C_f^i\geq 6$	严重	$160\leq E_r^i<320$	重度	$RI\geq 600$	严重
		$E_r^i\geq 320$	严重		

4 水体中重金属含量特征分析

4.1 水体重金属含量与分布特征

表 3 为水样中重金属含量统计,从表中可知,水体中 6 种重金属平均含量差异较大,各重金属平均含量大小顺序为 $Zn>Cu>Cd>Pb>As>Hg$, 分别是地表水环境质量标准的 6.7、4.8、43.3、3.5、0.5、0.6 倍,说明东大沟水体中 Zn、Cu、Cd、Pb、As、Hg 有不同程度的污染。

从水体重金属含量的空间分布来看(图 2),各采样点水体中重金属总含量大小依次为 $S2>S1>S6>S5>$

$S12>S3>S14>S17>S16>S15>S20>S18$ 。水体中 Cu、Zn、Cd 的最高含量在 S2 采样点;Pb、Hg 的最高含量在 S6 采样点;As 的最高含量在 S18 采样点。而水体中 Cu、Cd、As、Hg 的最低含量在支流采样点 S20 处,Pb、Zn 的最低含量出现在 S18 采样点。各重金属的最低含量均低于地表水环境质量Ⅳ级标准。

值得关注的是,水体中 As 含量分布不同于其他重金属元素,向下游方向 As 含量表现为升高趋势,而其余重金属整体上表现为显著降低趋势,这说明当外界条件改变时,水体中溶解态重金属极易发生沉淀转移到沉积物中,同时也可以从沉积物中溶解进入水体,吸附解吸和溶解沉淀作用决定了重金属

表 3 水体中重金属含量统计特征
Table 3 Statistical characteristics of the heavy mental contents in the water samples

元素	最小值 /($mg\cdot L^{-1}$)	最大值 /($mg\cdot L^{-1}$)	平均值 /($mg\cdot L^{-1}$)	标准差	变异系数	地表水环境质量Ⅳ级标准 /($mg\cdot L^{-1}$)
Cu	0.005	30.63	4.796	10.55	2.20	1
Pb	0.0006	1.019	0.1759	0.28	1.61	0.05
Zn	0.07	77.35	13.34	25.25	1.89	2
Cd	0.0003	0.8633	0.2164	0.27	1.23	0.005
As	0.001	0.152	0.048	0.05	1.12	0.1
Hg	0.00008	0.00279	0.00057	0.0009	1.49	0.001

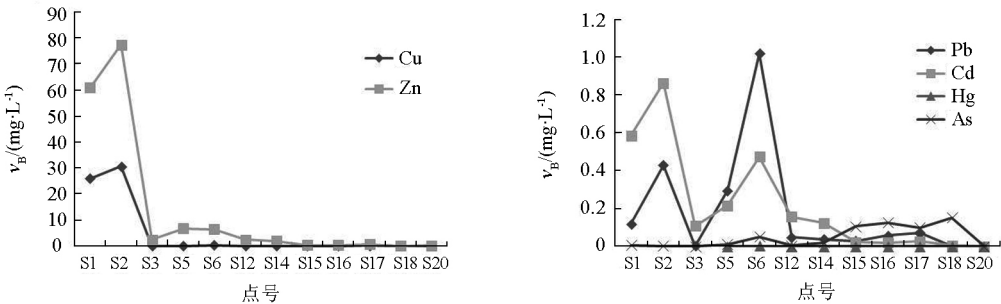


图 2 水体中重金属含量随水流方向的变化
Fig.2 Variations in the concentrations of heavy metals in the water with water flow

在水体和沉积物(悬浮物)之间的迁移转化行为^[26]。S3 采样点各个重金属含量均出现低谷值,其原因可能是地下水注入水体,导致水体中重金属的含量被稀释^[10]或是筑坝拦截,使水体中的重金属加快与悬浮物和底泥的吸附交换,从而使得重金属浓度发生变化。

4.2 水环境质量综合评价

根据单项污染指数显示(表 4),Cu 除了在东大沟 S1、S2 采样点出现污染外,在其他采样点未见污染;重金属 Hg 在 S6 采样点超标,其余样点未污染;

Zn 在东大沟上游污染较严重;Cd 在东大沟水域出现大范围污染;Pb 污染范围约占水体的 50%;As 部分采样点(约占 25%)含量超标,且主要位于东大沟下游。S1、S2 采样点水体偏酸性,pH 值小于 6,并且 Cu、Pb、Zn、Cd 重金属污染极其严重。用内梅罗综合指数评价东大沟水体污染,显示研究区大范围水体为重度污染,其中污染程度最严重的是 S2 采样点代表的河段,S18 处样点为轻度污染,支流河段 S20 未污染。由此看来,东大沟大部分水体出现了不同程度污染。

表 4 东大沟水体中各重金属单项污染指数与综合指数
Table 4 Water quality evaluation results of Nemerow pollution index

样号	pH	Cu	Pb	Zn	Cd	As	Hg	综合污染指数
S1	4.67	25.96	2.39	30.42	117.24	0.07	—	86.6
S2	4.19	30.63	8.60	38.68	172.66	0.03	—	127.1
S3	6.78	0.03	0.05	1.24	21.44	0.01	—	15.5
S5	7.00	0.12	5.91	3.42	43.10	0.12	0.43	31.1
S6	7.35	0.35	20.38	3.22	94.42	0.52	2.79	68.3
S12	7.59	0.02	0.99	1.23	31.06	0.04	0.45	22.3
S14	7.65	0.02	0.76	0.96	24.84	0.19	0.17	17.8
S15	8.10	0.05	0.57	0.17	4.50	1.05	0.27	3.3
S16	8.09	0.08	1.14	0.19	4.11	1.25	0.58	3.0
S17	7.52	0.26	1.39	0.35	5.14	0.98	0.26	3.8
S18	7.29	0.02	0.05	0.04	0.84	1.52	0.10	1.1
S20	7.61	0.01	0.01	0.15	0.06	0.01	0.08	0.1

注:“—”表明未检出

5 底泥中重金属含量特征分析

5.1 底泥中重金属含量与分布特征

从表 5 可知,底泥中 6 种重金属平均含量差异较大,各重金属含量大小顺序为 Zn>Pb>Cu>Cd>Cr>Hg。与 20 世纪 90 年代甘肃省土壤背景值相比较,研究区重金属平均含量分别是甘肃省土壤背景值的 87.6、256.4、74.5、4 334.6、0.9、3 253.5 倍,说明在过去 30 年中,底泥中重金属 Zn、Pb、Cu、Cd、Hg 有明显的累积现象,反映了人为污染的加剧。

从底泥重金属含量的空间分布来看(图 3),各

采样点底泥中重金属含量大小为 D7>D8>D5>D6>D9>D4>D1>D10>D2>D12>D11>D3>D14>D18>D16>D17>D15>D20。底泥中 Cr 的最高含量在 D10 采样点;Zn、Cd 的最高含量出现在 D7 采样点;Pb、Hg 的最高含量在 D5 采样点;Cu 的最高含量在 D4 采样点。而底泥中 Cr、Zn 的最低含量出现在 D15 采样点;Pb、Cu、Cd、Hg 的最低含量出现在支流底泥 D20 采样点。除 Cr 以外,其余各重金属的最低含量均高于甘肃省土壤背景值,表明东大沟底泥重金属严重累积。此外,尽管各个河段底泥中的重金属含量有起伏性变化,但整体变化趋势表现为随着流水方向底泥中的重金属含量显著降低。

表 5 底泥中重金属含量统计特征
Table 5 Statistical characteristics of the heavy mental contents in the sediments

元素	最小值/10 ⁻⁶	最大值/10 ⁻⁶	平均值/10 ⁻⁶	标准差	变异系数	甘肃省土壤背景值 ^[25] /10 ⁻⁶
Cr	43	80.1	61.6	10.6	0.2	70.2
Zn	425.3	13800	5999.3	4417.7	0.7	68.5
Pb	60.6	15900	4819.5	5387.4	1.1	18.8
Cu	39.4	8449.8	1795.6	2282.6	1.3	24.1
Cd	2.689	2908	502.816	832.31	1.7	0.116
Hg	0.03	476.6	65.07	129.15	2	0.02

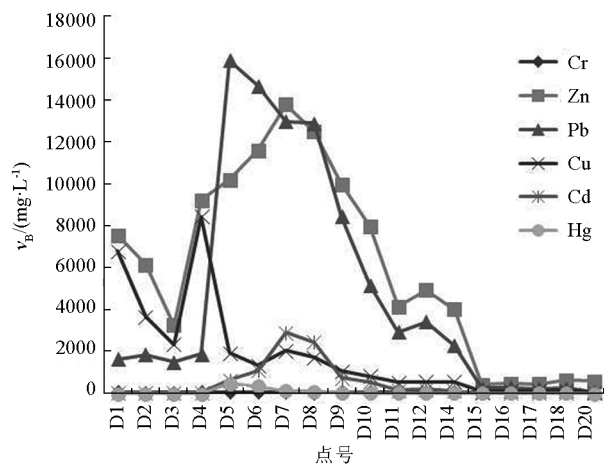


图 3 底泥中重金属含量随水流方向的变化
Fig.3 Variations in the concentrations of heavy metals in the sediments with water flow

5.2 潜在生态风险指数对底泥评价

单因子污染物污染程度评价中显示,东大沟底泥中 Cr 含量在该区域背景值附近波动,累积程度较

低; 72%的河道底泥中 Cu 严重累积;95%的底泥中 Pb、Hg 严重污染;全部河段底泥中 Cd、Zn 严重污染。由此可知,东大沟底泥中重金属单因子污染程度依次为 Cd>Zn>Hg>Pb>Cu> Cr,重金属污染严重。

由图 4 可了解到,河道整体底泥沉积物中除了 Cr 以为,其余重金属全部累积严重,含量是背景值的几倍甚至几百倍。单一重金属含量自上游到下游底泥呈下降趋势,但底泥重金属含量峰值大都在 D5 至 D7 河段(冶炼厂下游),表明在这一河段重金属累积最为严重。Cu、Zn 在东大沟上游 D1、D2、D3 段底泥中沉积与该河段水样中 Cu、Zn 含量变化相符,表明长时间内东大沟上游该处河段水体中 Cu、Zn 含量超标,并在该处有很高的沉积速率,使得底泥 Cu、Zn 单因子污染折线图在该段中表现为下降。

由表 6 可知,以甘肃省土壤背景值作为参比值。在河段底泥中重金属单因子污染物生态风险程度表明,各指标生态危害顺序为 Cd>Hg>Pb>Cu>Zn>Cr,其中Cr为低度生态污染水平,Zn为中度生态污染

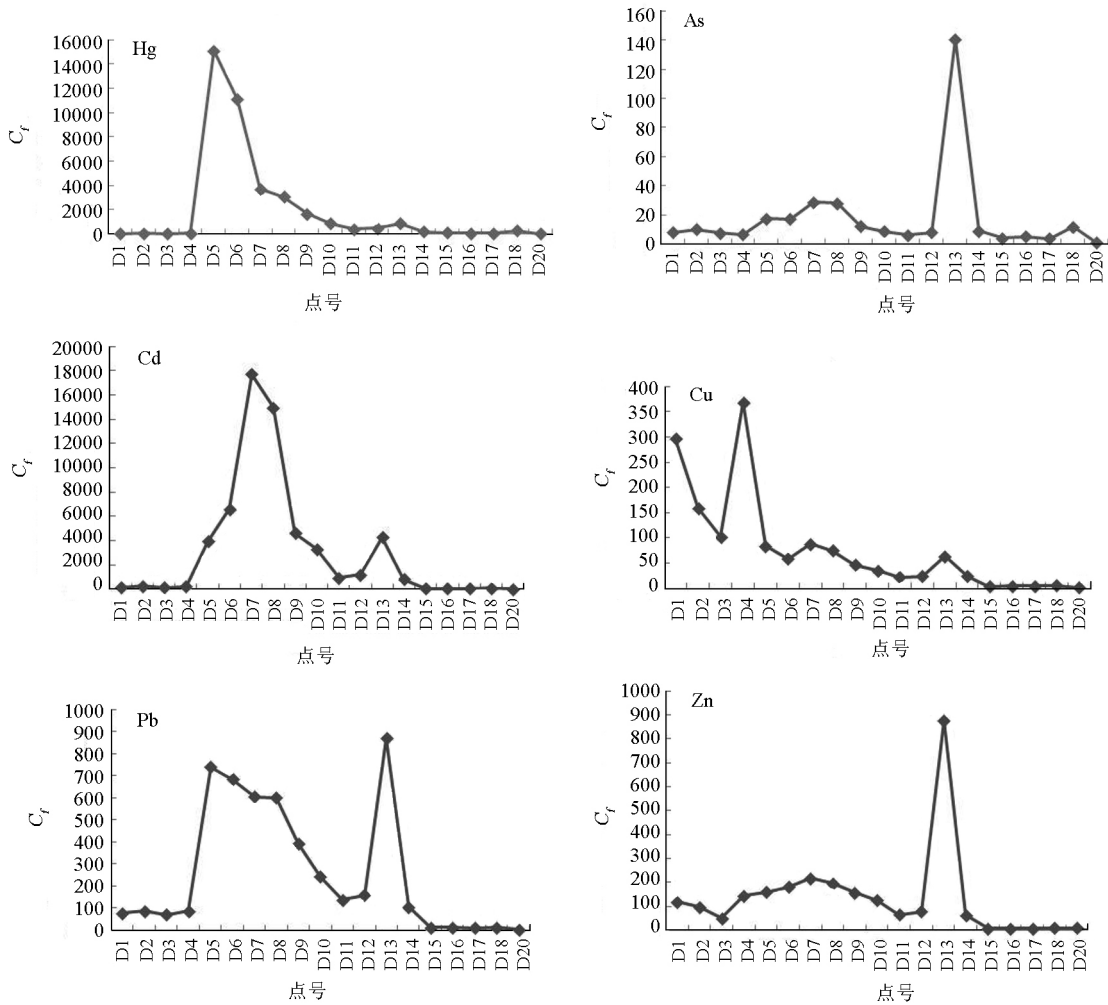


图 4 随水流方向底泥重金属单因子污染指数 (C_f) 变化趋势
Fig.4 Variations of heavy metal enrichment with water flow

表 6 东大沟底泥潜在生态风险指数(E_r^i)
Table 6 Potential ecological harm index in sediments

样号	采样位置	Cr	Zn	Pb	Cu	Cd	Hg	RI
D1	上游	1.7	110.2	436.9	1408.3	6452.6	27.5	8437.2
D2		1.4	89.9	492.8	760.4	10713.4	53.5	12111.3
D3		1.4	47.5	398.0	486.9	5808.6	43.0	6785.4
D4		1.7	134.9	496.5	1753.1	9243.1	72.0	11701.3
D5		2.0	148.9	4228.7	399.8	167568.1	23830.0	196177.4
D6		2.0	169.3	3909.6	279.2	280603.4	17490.0	302453.6
D7		1.6	201.5	3457.4	421.3	752069.0	5845.0	761995.8
D8		1.5	182.5	3430.9	358.9	634396.6	4833.0	643203.3
D9		1.8	146.0	2249.8	220.7	195284.5	2609.0	200511.8
D10		2.3	116.6	1379.4	170.7	140275.9	1356.5	143301.3
D11	下游	1.8	60.7	783.4	107.0	40422.4	614.0	41989.3
D12		1.7	72.1	912.1	115.7	49991.4	741.0	51834.0
D14		2.3	58.8	606.3	117.1	35224.1	301.5	36310.1
D15		1.2	6.2	67.5	20.1	2661.2	116.5	2872.8
D16		1.3	7.1	75.7	23.8	2298.6	105.5	2512.0
D17		1.9	6.7	62.4	25.2	2556.7	97.0	2749.9
D18		2.1	9.3	68.3	29.3	4428.9	427.0	4964.9
D20		2.0	8.4	16.1	8.2	695.4	1.6	731.6

水平,其余重金属 Cd、Hg、Pb、Cu 为严重生态污染水平。由此可见,底泥沉积物中表现出了以 Cd、Hg、Pb、Cu 为主导的严重复合污染。就综合潜在生态危害来看,D7 采样点的潜在生态风险危害最高,东大沟所有河段底泥中的潜在生态风险指数都属于严重。

6 东大沟污染防治的建议

前人就东大沟污染的防控与治理方面曾提出了建议,如张丹等^[13]认为可以采用物理、化学及植物重金属修复技术对区域内的底泥、废渣等介质进行无害化处理与处置,并建立重金属污染土壤植物修复示范区。张素娣等^[11]认为政府应加强重金属治理的科技及资金投入。倪鼎文^[27]认为通过“严防与根治相结合”,要严格控制重金属污染的增量,同时逐步降低重金属污染的存量。

本次研究通过对东大沟的水体和底泥的污染状况分析评价,在现有条件下,对东大沟污染防治与治理方面提出了一些建议:① 政策方面,希望政府加强东大沟环境污染监控,加强治理资金投入以及科技成果转化。② 技术方面,可以通过在东大沟上游建立污水处理净化厂解决水污染,通过加入化学制剂使得水体中重金属沉淀,再处理沉降物;在重度污染区域则疏浚河道,将底泥脱水干化,然后通过化学试剂或固化处理后进行利用,无法利用则填埋处理;在轻度污染区可以进行植物修复,选择可以在该条件下成活的抗性植物,例如小果白刺及其他草本植

物,将重金属固定在这些植物体内;河道两侧受污染影响的耕地可以在政府部门的调控下,进行退耕还林、退耕还草等,从而避免重金属进入作物。

7 结语

1) 东大沟水体中的 6 种重金属平均含量在 0.0057~4.7960 mg/L 之间,其含量大小为 Zn>Cu>Cd>Pb>As>Hg,空间分布特征显示,S2 采样点河段所有重金属含量最高,S18 采样点河段所有重金属含量最低。然而随水流方向水体中 As 含量表现为升高趋势,但其余重金属随着流水方向含量显著降低。东大沟底泥中的 6 种重金属平均含量在 (61.6~5 999.3)×10⁻⁶之间,其含量大小为 Zn>Pb>Cu>Cd>Cr>Hg,空间分布特征显示,S7 采样点河段所有重金属含量最高,S20 支流采样点所有重金属含量最低。

2) 东大沟水体中的主要重金属污染物为 Cu、Pb、Zn、Cd;底泥中的主要重金属污染物为 Cd、Hg、Pb、Cu 为主导的严重复合污染。采用综合指数法对东大沟水体进行评价,除了支流处无污染外,其余水体皆有不同程度的污染。采用潜在生态风险指数对东大沟底泥评价,东大沟底泥总的潜在生态风险指数为严重。

3) 东大沟河水中重金属的含量及变化代表了现今东大沟的污染情况。而沉积底泥中的重金属含量的高度富集代表重金属经过长时间的沉淀累积。由于东大沟最终流入黄河,且沉积物不仅是重金属

赋存、迁移的重要介质,也是造成水体重金属污染的二次污染源,因此东大沟对黄河是一个潜在污染源,需要加强监控治理。

参考文献 (References):

- [1] 贾英,方明,吴友军,等.上海河流沉积物重金属的污染特征与潜在生态风险[J]. 中国环境科学,2013, 33(1): 147-153.
Jia Y, Fang M, Wu Y J, et al. Pollution characteristics and potential ecological risk of heavy metals in river sediments of Shanghai [J]. China Environmental Science, 2013,33(1): 147-153
- [2] 于晓霞,赵学强,孙滨峰,等.济南市小清河流域表层沉积物中重金属的空间分布、生态风险及源解析[J]. 西南师范大学学报:自然科学版,2017, 42(2): 78-84.
Yu X X, Zhao X Q, Sun B F, et al. Spatial distribution, ecological risk and source apportionment of heavy metals in sediments from Xiaoqinghe watershed of Jinan[J]. Journal of Southwest China Normal University, 2017, 42(2): 78-84.
- [3] Fu J, Hu X, Tao X C, et al. Risk and toxicity assessments of heavy metals in sediments and fishes from The Yangtze River and Taihu Lake, China[J]. Chemosphere, 2013, 93(9): 1887-1895.
- [4] Varol M. Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, 195(1):355-364.
- [5] 黄淦.联用强化混凝与化学沉淀法去除水中重金属离子的研究[D].长沙:湖南大学,2008.
Huang G. Study on the removal of heavy metal ions in the water by combined intensifying coagulation and chemical precipitating[D]. Changsha:Hunan University, 2008.
- [6] 黄飞,王泽煌,蔡昆争,等.大宝山尾矿库区水体重金属污染特征及生态风险评价[J]. 环境科学研究,2016, 29(11):1701-1708.
Huang F,Wang Z H,Cai K Z,et al.Pollution characteristics and potential ecological risks of heavy metals in water of Tailing zone in dabaoshan mine,Guangdong Province,China[J].Research of Environmental Sciences,2016,29(11) : 1701-1708.
- [7] Naicker K, Cukrowska E, Mccarthy T S. Acid mine drainage arising from gold mining activity in Johannesburg, south Africa and Environs[J]. Environmental Pollution, 2003, 122(1):29-40.
- [8] 张俊华,卢翠玲,刘玉寒,等.开封城郊河道底泥重金属形态垂向分布特征及风险评价[J]. 农业环境科学学报,2017, 36(6):1192-1201.
Zhang J H, Lu C L, Liu Y H, et al. Vertical distribution characteristics and risk assessment of heavy metals in core sediments from Kaifeng suburban rivers[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2017, 36(6):1192-1201.
- [9] Hakima Z, Mohamed M, Aziza M, et al. Environmental and ecological risk of heavy metals in the marine sediment from Dakhla bay, Morocco[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2017,24(9): 7970-7981.
- [10] 李春亮,刘文辉.甘肃省白银市区土壤环境质量评价[J].物探与化探,2012,36(6):1014-1019.
Li C L, Liu W H. An assessment of the soil environmental quality in the downtown area of Baiyin city, Gansu Province [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2012, 36(6):1014-1019.
- [11] 张素娣,吴世洋.白银东大沟重金属污染现状及综合治理对策[J]. 世界有色金属,2013(9):72-73.
Zhang S Z, Wu S Y. Current status of heavy metal pollution in Dongdagou, Baiyin and comprehensive countermeasures [J]. World Nonferrous Metals, 2013(9): 72-73.
- [12] 李小虎,汤中立,初凤友.白银矿山水体和沉积物中重金属及其化学形态分布特征[J]. 地球与环境,2008, 36(3):218-224.
Li X H, Tang Z L, Chu F Y. Analysis on speciation and transportation of heavy metals in water and sediment in Baiyin mine[J]. Earth & Environment, 2008, 36(3):218-224.
- [13] 张丹,王鑫羽,周富强,等.白银市东大沟上游河道重金属污染现状及治理方法[J]. 现代农业科技,2013(16):224-224.
Zhang D, Wang X Y, Zhou F Q, et al. Status and treatment of heavy metal pollution in the upper reaches of Dongdagou, Baiyin city [J]. Modern Journal of Agricultural Science and Technology, 2013(16): 224-224.
- [14] 韩冰.白银市污水灌溉对农田环境及小麦产量质量的影响研究[J]. 甘肃农业科技,2000(6):46-47.
Han B. Study on the influence of sewage irrigation in Baiyin city on farmland environment and wheat yield and quality [J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2000(6): 46-47.
- [15] 刘白林.甘肃白银东大沟流域农田土壤重金属污染现状及其在土壤—作物—人体系统中的迁移转化规律[D].兰州:兰州大学,2017.
Liu B L. Heavy metal contamination in farmland soils and it transfer in the soil-crop-human system within the Dongdagou watershed, Baiyin, Gansu[D]. Lanzhou:Lanzhou University, 2017.
- [16] 黄河上游白银段东大沟流域重金属污染整治与生态系统修复规划[M].北京:北京大学出版社,2012.
Heavy metal pollution remediation and ecosystem restoration planning in the Dongdagou watershed of the upper section of the Yellow River [M]. Beijing: Peking University Press, 2012.
- [17] SL187-96 水质采样技术规程[S].
SL187-96 Technical regulation of water quality sampling [S].
- [18] GB5084-92 农田灌溉水质标准[S].
GB5084-92 Standards for irrigation water quality [S].
- [19] 于国强,李占斌,张霞,等.土壤水盐动态的BP神经网络模型及灰色关联分析[J]. 农业工程学报,2009, 25(11):74-79.
Yu G Q, Li Z B, Zhang X, et al. Dynamic simulation of soil water-salt using BP neural net-work model and grey correlation analysis[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 74-79.
- [20] 阎伍玖,陈飞星.长江安徽马鞍山段水质评价研究[J]. 水土保持学报,2000, 14(4):104-107.
Yan W J, Chen F X. Water quality assessment on Yangtze River near Maanshan Anhui Province[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 14(4):104-107.
- [21] GB3838-2002 地表水环境质量标准[S].
GB3838-2002 Environmental quality standards for surface water

[S].

[22] Hakanson L. An ecology risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach [J]. Water Research, 1980, 14: 975 – 1001.

[23] 梅明, 文磊, 戚俊磊, 等. 河流底泥重金属形态分析及污染评价方法综述[J]. 价值工程, 2016, 35(9): 8 – 11.

Mei M, Wen L, Qi J L, et al. Review on methods of morphological analysis of heavy metals in river sediment and pollution Evaluation [J]. Value Engineering, 2016, 35(9): 8 – 11.

[24] 杨潇瀛, 张力文, 张凤君, 等. 土壤重金属污染潜在风险评价[J]. 世界地质, 2011, 30(1): 103 – 109.

Yang X Y, Zhang L W, Zhang F J, et al. Potential risk assessment of heavy metal pollution in soil [J]. Global Geology, 2011, 30(1): 103 – 109.

[25] 中国环境监测中心. 中国土壤背景值图集 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.

China environmental monitoring center. China soil background value atlas [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990.

[26] Stead-Dexter K, Ward N I. Mobility of heavy metals within freshwater sediments affected by motorway stormwater [J]. Science of the Total Environment, 2004, 334: 271 – 277.

[27] 倪鼎文. 白银市东大沟流域重金属污染的防控治理对策研究 [J]. 甘肃科技, 2015, 31(24): 6–8, 11.

Ni D W. Countermeasures for prevention and control of heavy metal pollution in Dongdagou Watershed of Baiyin City [J]. Gansu Science and Technology, 2015, 31(24): 6–8, 11.

Contamination situation and evaluation of heavy metal pollution in water and sediments of Dongdagou area, Baiyin

ZHANG Zhao-Rong¹, DUAN Xing-Xing², XIA Ming-Zhe¹

(1. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi; 2. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to provide scientific reference for the ecological control of the water and the risk assessment of sediment treatment, the authors analyzed the content level, the distribution characteristics and the content change trend of heavy metals such as Cu, Pb, Zn, Cd, As and Hg in water and Cr, Zn, Pb, Cu, Cd and Hg in sediments. The Nemerow Index and the Potential Ecological Risk Index were used to evaluate the accumulation degree and potential risk of heavy metal pollution in water bodies and sediments. The results show that the average content of six heavy metals in water is in the range of 0.005 7~4.796 0 mg/L, and the content exhibits the order of Zn>Cu>Cd>Pb>As>Hg. The content of As in the water body shows an increasing trend with water flow, while the other heavy metals content in water decreases obviously with the water flow. The average content of six heavy metals in the sediments is in the range of (61.6~5 999.3)×10⁻⁶, with the order of Zn>Pb>Cu>Cd>Cr>Hg. The content of heavy metals in the sediments of the river sections has undulating changes, but the overall change trend is that the content of heavy metals in the sediments decreases obviously with flowing water. The main heavy metal pollutants in Dongdagou water are Cu, Pb, Zn and Cd, and the single factor pollution degree is in order of Cd>Pb>Zn>Cu. The Dongdagou water evaluated by the Nemerow Index shows that there are different degrees of polluted water in the river. The contaminations in sediments are heavy metal pollutants Cd, Hg, Pb and Cu, and the degree of ecological risk is in order of Cd>Hg>Pb>Cu>Zn>Cr. The evaluation of the sediments in Dongdagou by using the Potential Ecological Risk Index shows that the total potential ecological risk index of the sediments in the whole section of Dongdagou is serious.

Key words: heavy metal pollution; water; sediments; pollution assessment; prevention and control; Dongdagou

(本文编辑:蒋实)