

# 历史遗留场地黄金堆浸尾渣周边土壤 及地下水污染状况研究

姜久宁

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

**[摘要]** 本文选择甘肃、新疆两地三处的历史遗留黄金堆浸尾渣场地,研究三场地黄金堆浸尾渣及周边土壤、地下水的污染状况。研究共采集195个黄金堆浸尾渣样品,469份土壤样品(含12份对照点样品),42份地下水样品(含3份对照点样品)。结果显示,历史遗留黄金堆浸尾渣样品通过酸浸或水浸检出总氰化物(以 $CN^-$ 计)、Cu、As、Cd、Zn、Pb、Ni因子,黄金堆浸尾渣周边土壤部分点位存在砷元素超标,周边地下水部分点位存在砷元素超标。堆浸尾渣周边土壤及地下水中砷元素含量明显偏高,与氰化堆浸提金生产过程金矿伴生砷含量高有关,随着时间的推移,经过雨水冲刷及渗滤液的作用,尾渣底部及附近的土壤、地下水遭受砷元素污染。

**[关键词]** 黄金堆浸尾渣; 氰化尾渣; 重金属; 土壤; 地下水; 污染

**[中图分类号]** TD926.4 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 2097-2423(2023)03-0068-05

**DOI:** 10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2023.03.014

## 0 前言

20世纪60年代,我国引进氰化提金技术,目前全国85%以上的成品金生产企业都采用氰化提金工艺<sup>[1]</sup>。氰化提金工艺具有操作简单、金回收率高、处理成本低等优点<sup>[2]</sup>。在90年代初国家鼓励兴办实体经济的历史背景下,部分个体小规模黄金堆浸企业通过堆浸工艺获得粗放型经济效益,但是产生了大量含剧毒氰化物的尾渣。氰化物属于剧毒物质,会与人体内高铁细胞色素氧化酶结合,生成氰化高铁细胞色素氧化酶而失去传递氧的功能,从而使细胞受到麻痹而造成人的窒息死亡<sup>[3]</sup>。此外,重金

属污染具有普遍性、隐蔽性和不可逆性,对人体健康具有显著威胁<sup>[4]</sup>。遗留的氰渣成为历史遗留污染源,造成的环境问题日益凸显<sup>[5]</sup>。因此,为防止堆浸尾渣污染环境,加强氰化尾渣管理,须研究历史遗留堆浸尾渣的污染特征<sup>[6]</sup>。

本研究选择甘肃、新疆两地共计三处历史遗留黄金堆浸尾渣场地作为研究对象,关注主要污染物氰化物及重金属的分布。依据《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ 25.1—2019)等导则规范,对场地进行走访调查、样品采集检测,充分了解该场地主要污染物种类及污染范围,为土壤环境污染防治提供有力支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 场地概况

现场地均已停产多年,研究对象主要为历史遗留黄金堆浸尾渣及周边土壤。甘肃A场地堆浸尾渣69处,堆浸尾渣面积162 319 m<sup>2</sup>,方量约797 033 m<sup>3</sup>。甘肃B场地内堆浸尾渣4处,堆浸尾渣面积10 500 m<sup>2</sup>,方量约50 000 m<sup>3</sup>。新疆C场地内堆浸尾渣92处,堆浸尾渣面积6 340 000 m<sup>2</sup>,方量约2 400 000 m<sup>3</sup>。A、B、

**[收稿日期]** 2022-10-12

**[基金项目]** 金矿堆浸场地微生物淋洗-植物固定耦合治理技术研发(2018YFC1801805);国家重点研发计划项目(金矿堆浸场地微生物淋洗-植物固定耦合治理技术研发)(2018YFC1801805)

**[作者简介]** 姜久宁(1990—),男,辽宁普兰店人,硕士,工程师,主要从事环保工程设计等工作。

**[引用格式]** 姜久宁. 历史遗留场地黄金堆浸尾渣周边土壤及地下水污染状况研究[J]. 绿色矿冶, 2023, 39(3): 68-72.

C 场地采用的黄金提取工艺流程为:将含金矿破碎后运至堆浸场按一定方式堆积成为矿堆,然后在矿堆表面喷洒氰化钠溶液,浸出剂从上至下均匀渗滤通过固定矿堆,使金进入浸出液中,渗滤浸出所得贵液中的金含量常较低,需采用活性炭吸附回收金和银(一般用 4~5 个活性炭柱富集金和银),载金炭解吸所得贵液送电积得到成品金。脱金和银后的贫液经调整浓度和 pH 值后返回矿堆进行渗滤浸出。原辅材料主要为氰化钠、石灰等<sup>[7]</sup>。

A 场地矿区地下水主要划分为第四系松散岩类孔隙水和中泥盆统碎屑岩类孔隙裂隙水两类。B 场地区域揭露的地层有粉土、角砾和表层卵石,皆为强透水层,区域基岩为隔水底板,地下水主要分布于角砾和卵石层中,属孔隙潜水。C 场地区域内地层简单,仅出露下石炭统南明水组地层及第四系残坡积层,地下水水位较浅,埋深 0.1~0.3 m。

三场地内矿山采场大面积裸露,大量的尾渣堆体沟壑纵横,尾渣堆体上寸草不生,整个矿区水土流失和植被破坏严重(图 1)。



(a) A 场地状况



(b) B 场地状况



(c) C 场地状况

图 1 A、B、C 三场地现状图

## 1.2 污染识别

A、B、C 场地在生产过程产生的黄金堆浸尾渣长时间堆放,在大气降水、地表径流的作用下,造成周围土壤、地下水污染,潜在污染物为氰化物、Hg、Cu、Zn、Pb、Cd、As、Cr<sup>6+</sup>、Ni 等<sup>[8]</sup>。

## 1.3 样品采集

为了研究黄金堆浸尾渣周边土壤及地下水污染状况,分别采集三个场地内的堆浸尾渣、土壤、地下水样品<sup>[9]</sup>。根据场地的水文地质条件、生产工艺资料、现场踏勘和人员访谈等资料,三个场地的堆浸尾渣采样参照《危险废物鉴别技术规范》(HJ298)规定,本次重点评估在受到地表水或地下水浸沥情况下堆浸尾渣中污染物的浸出情况。周边土壤采样参照《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ 25.1—2019)、《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ 25.2—2019)和《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166—2004)规定,本次重点研究堆浸尾渣周边土壤中的污染物分布。地下水采样参照《地下水环境监测技术规范》(HJ/T 164—2004)导则,本次重点研究堆浸尾渣下游地下水中污染物浓度情况。

## 1.4 监测项目和分析方法

根据现场调查情况及相关资料,堆浸尾渣检测指标为:参照《固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法》(HJ/T 299—2007),浸出液检测项目为 Hg、Cu、Zn、Pb、Cd、As、Cr<sup>6+</sup>、Ni;参照《固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法》(HJ 557—2010),浸出液检测项目为氰化物、Hg、Cu、Zn、Pb、Cd、As、Cr<sup>6+</sup>、Ni。土壤样品检测指标为:《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 36600—2018)要求的 45 项基本项目以及锌、氰化物。地下水监测项目为:理化指标(11 项)、重金属(10 项)、VOCs(26 项)、SVOCs(10 项)、氰化物。样品检测分析方法均参考国家标准测试方法、行业标准方法。

## 1.5 评价方法

堆浸尾渣的酸浸与水浸结果分别应与《危险废物鉴别标准 腐蚀性鉴别》(GB 5085.1—2007)、《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)第一类污染物最高允许排放标准相应指标进行对比;土壤的检测指标应与 GB 36600—2018 中第二类用地土壤筛选值及该区域未受人为扰动的土壤对照点指标进行对比;地下水检测指标与《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)规定的所在地水域功能类别相应指标

进行对比,同时分析污染物在堆浸尾渣及周边土壤及地下水的分布情况。

## 2 结果与讨论

### 2.1 堆浸尾渣检测结果

堆浸尾渣酸浸和水浸检测结果分别见表 1 和表 2。

表 1 A、B、C 地块堆浸尾渣酸浸及水浸砷元素检测结果

地块	类别	最小值/ mg·L <sup>-1</sup>	最大值/ mg·L <sup>-1</sup>	标准值/ Mg·L <sup>-1</sup>	样品数/份	检出数/份	超标数/份	超标率/%
A	酸浸	0.000 95	0.380	5.0	69	69	0	0
	水浸	0.000 70	0.459	0.5	69	69	0	0
B	酸浸	ND	1.433	5.0	23	21	0	0
	水浸	ND	0.876	0.5	23	19	6	26.08
C	酸浸	0.005 80	3.390	5.0	103	103	0	0
	水浸	0.009 40	15.200	0.5	103	89	32	31.07

注:ND 表示未检出。

表 2 A、B、C 地块堆浸尾渣水浸总氰化物检测结果

地块	最小值/ mg·L <sup>-1</sup>	最大值/ mg·L <sup>-1</sup>	标准值/ mg·L <sup>-1</sup>	样品数/份	检出数/份	超标数/份	超标率/%
A	ND	ND	0.5	69	0	0	0
B	ND	0.476	0.5	23	8	0	0
C	ND	0.502	0.5	103	86	1	0.97

注:ND 表示未检出。

B 场地选取 23 份堆浸尾渣进行酸浸和水浸,酸浸结果显示砷元素检出率为 91.30%,其他检测因子均未检出,所有样品浸出液的检测因子均未超过鉴别标准(GB 5085.1—2007);水浸结果中砷元素检出率为 82.6%,总氰化物(以 CN<sup>-</sup>计)检出率为 34.78%,其他检测因子均未检出,砷元素存在超过 GB 8978—1996 第一类污染物最高允许排放标准(0.5 mg/L)的样品,超标率为 26.08%,其他检测因子均未超标。

C 场地选取 103 份堆浸尾渣按照进行酸浸和水浸。酸浸结果显示砷元素均有检出,其他检测因子均未检出,所有样品浸出液的检测因子均未超过鉴别标准(GB 5085.1—2007);水浸结果砷元素检出率为 86.40%,总氰化物(以 CN<sup>-</sup>计)检出率为 83.49%,其他检测因子均未检出。有 1 份样品浸出液总氰化物含量(以 CN<sup>-</sup>计)超标标准值(0.5 mg/L),超标率 0.97%,该样品位于堆浸尾渣的最底部。

三个场地历史遗留黄金堆浸尾渣 195 份样品的

A 场地选取 69 份堆浸尾渣进行酸浸和水浸,所有样品酸浸结果显示砷元素均有检出,其他检测因子均未检出,所有样品浸出液的检测因子均未超过鉴别标准(GB5085.1—2007);所有样品水浸结果显示砷元素均有检出,其他检测因子均未检出,所有样品的检测因子均未超过 GB 8978—1996 第一类污染物最高允许排放标准。

检测结果表明,所有样品的砷元素含量均未超过鉴别标准。191 份样品水浸试验结果检出总氰化物(以 CN<sup>-</sup>计)、Cu、As、Cd、Zn、Pb、Ni 因子,其中砷超标明显,与金矿中伴生砷、铜、锌等元素有关。为了解原矿重金属伴生情况,收集 A 场地矿区矿石元素资料,多元素定量分析砷元素含量为 0.49%,这表明矿石中砷背景含量较高。总氰化物(以 CN<sup>-</sup>计)仅在堆浸尾渣底部存在残留,与开采过程中使用氰化钠有关,大部分堆存的黄金堆浸尾渣中氰化物经过多年的自然分解,含量降低。

### 2.2 土壤检测结果

A、B、C 三个场地的土壤检测结果如图 2 所示。

A 场地选取 112 份土壤试验样品进行检测,在矿区周边未受人为扰动区域取 4 份土壤样品作为对照样。对照点样品检测因子检测值均低于 GB 36600—2018 第二类用地土壤筛选值。试验样品检测结果中,砷含量超标率为 52.67%,其他因子均未超标。经统计,砷含量最小值为 8.9 mg/kg,最大值

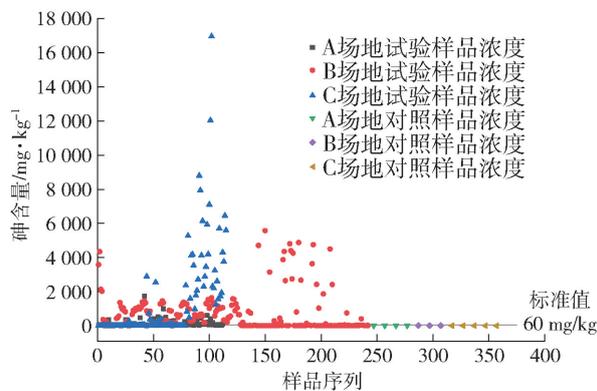


图2 A、B、C三场地土壤试验样品和对照样品浓度

为 1 758 mg/kg, 最大超标 28.3 倍, 平均值为 148.34 mg/kg。

B 场地选取 242 份土壤试验样品进行检测, 在矿区周边未受人为扰动区域取 3 个土壤样品作为对照样。对照点样品检测因子检测值均低于 GB 36600—2018 第二类用地土壤筛选值。试验样品检测结果中, 砷含量超标率为 60.74%, 其他因子均未超标。经统计, 砷含量最小值为 9.05 mg/kg,

表3 A、B、C 地块地下水中砷元素检测结果

地块	最小值/ mg·L <sup>-1</sup>	最大值/ mg·L <sup>-1</sup>	标准值/ mg·L <sup>-1</sup>	样品数/份	检出数/份	超标数/份	超标率/%
A	ND	0.044 4	0.01	24	23	5	20.83
B	0.000 607	0.000 607	0.01	3	3	0	0
C	0.000 4	0.035 2	0.01	15	15	4	26.67

A 场地共布设 24 个地下水监测点, 1 个对照点。对照点检测元素均未超过《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017) III 类标准; 5 个监测点的砷含量超标, 超标率为 20.83%, 超标监测点位于堆浸尾渣堆放处地势较低区域。

B 场地共布设 3 个地下水监测点, 1 个对照点, 监测点和对照点检测因子均未超标, 3 个监测点的砷元素均有检出, 对照点的砷元素未检出。

C 场地共布设 15 个地下水监测点, 1 个对照点。其中 4 个监测点砷元素含量超标, 超标率为 26.67%, 其他因子均未超标。

A、B、C 三场地对照点均位于矿区水文单元地下水上游, 周边无开采迹象, 其检测因子均未超标。A、B、C 三场地地下水监测点中氰化物均未检出, 重金属砷有检出, 存在点位超标现象。这是因为堆浸尾渣中伴生矿中砷含量高, 随着时间的推移, 经过雨水冲刷及渗滤液的作用, 下渗到地下水中。

最大值为 5 580 mg/kg, 最大超标 92 倍, 平均值为 720.79 mg/kg。

C 场地选取 115 份土壤试验样品进行检测, 在矿区周边未受人为扰动区域取 5 个土壤样品作为对照样。对照点样品检测因子检测值均低于 GB 36600—2018 第二类用地土壤筛选值; 试验样品检测结果中, 砷含量超标率为 44.34%, 其他因子均未超标。经统计, 砷含量最小值为 5.85 mg/kg, 最大值为 16 963 mg/kg, 最大超标 281.72 倍, 平均值为 1 427.12 mg/kg。

综上所述, A、B、C 三个场地对照点均为矿区周边未受人为扰动区域的点位, 其砷元素均未超标。三个场地堆浸尾渣下部及周边的砷含量明显偏高, 这是因为氰化堆浸提金生产过程金矿伴生砷含量高, 随着时间的推移, 经过雨水冲刷及渗滤液的作用, 尾渣底部及附近的土壤、地下水遭受到砷元素污染有关。

### 2.3 地下水检测结果

A、B、C 三个场地的地下水检测结果见表 3。

## 3 结论

以甘肃、新疆两地三处历史遗留黄金堆浸尾渣场地作为分析对象, 研究了黄金堆浸尾渣及周边土壤、地下水的污染状况。研究共采集 195 份黄金堆浸尾渣样品, 其中 191 份试验样品水浸结果检出总氰化物(以 CN<sup>-</sup>计)、Cu、As、Cd、Zn、Pb、Ni 因子, 其中砷超标明显与金矿中伴生砷、铜、锌等元素有关, 金矿石中砷背景含量较高。总氰化物(以 CN<sup>-</sup>计)在堆浸尾渣底部存在残留, 与开采过程中使用氰化钠有关, 氰化物经过多年的自然分解, 含量已降低。

三场地共计采集土壤试验样品 469 份, 土壤对照点样品 12 份, 对照点检测因子均未超标, 土壤试验样品中砷元素超标率 54.80%, 其他检测元素均未超标。堆浸尾渣下部及周边土壤中砷元素含量明显偏高, 这是因为氰化堆浸提金生产过程金矿伴生砷含量高, 随着时间的推移, 经过雨水冲刷及渗滤液

的作用,渣堆底层及附近的土壤遭受到重金属砷元素污染。

三场地共计采集地下水试验样品 42 份,地下水对照点样品 3 份,对照点检测因子均未超标。其中重金属砷有检出,存在点位超标的情况。这与堆浸尾渣中伴生矿中砷含量高,随着时间的推移,经过雨水冲刷及渗滤液的作用,砷下渗到地下水中有关系。

#### [参考文献]

- [1] 朱磊,康广凤,李淑芬,等. 氰化尾渣多元素资源化回收技术研究[J]. 环境科技, 2010, 23(2): 5-7,11.
- [2] 冯阳,李环,朱健健. 氰化尾渣资源综合利用研究进展[J]. 化工设计通讯, 2018, 44(9): 201.
- [3] 李珊,王潇逸,刘军,等. 北京市密云某私采金矿矿洞废水对大型溞的急性毒性研究[J]. 生态毒理学

报, 2022,17(4):1-12.

- [4] 汤志涛. 重金属污染土壤修复技术研究现状与展望[J]. 广东化工, 2020, 47(1): 110-111,103.
- [5] 肖祖菊. 含氰化工废渣的毒性研究及健康风险评估[D]. 重庆大学, 2010.
- [6] 郝建青,何新春,文星,等. 西部干旱区某金矿历史遗留堆浸氰化尾渣污染特征分析[J]. 有色冶金节能, 2022,38(4):72-74,87.
- [7] 张元伟,徐建昌. 堆浸法提金氰化过程影响因素分析[J]. 华北国土资源, 2008,11(2): 55-58.
- [8] 刘栎灵. 浅析氰化尾渣资源化综合利用及污染防治措施[J]. 化工管理, 2016, 24(23): 295-296,298.
- [9] 袁艺宁,杨志辉,柴立元,等. 铅锌冶炼厂渣堆场周边土壤铅污染特征[J]. 生态环境学报, 2014, 23(2): 307-311.

## Study on Soil and Groundwater Pollution around Gold Heap Leaching Tailings in Historical Sites

JIANG Jiuning

**Abstract:** In this study, three sites of historical gold heap leaching tailings in Gansu and Xinjiang were taken as the research object, and the pollution status of gold heap leaching tailings and surrounding soil and groundwater in the three sites was studied. A total of 195 gold heap leaching tailings samples and 469 soil samples (including 12 control point samples) and 45 groundwater samples (including 3 control point samples) were collected. The results showed that total cyanide (in terms of  $CN^-$ ), Cu, As, Cd, Zn, Pb and Ni factors were detected by acid leaching or water leaching in the samples of historical gold heap leaching tailings. The arsenic elements of some monitoring points in the soil around the gold heap leaching tailings exceeded the standard. The arsenic content in the soil and groundwater around the heap leaching tailings is obviously higher, which is related to the high arsenic content in the gold mine associated with cyanide heap leaching gold extraction. With the passage of time, after rain water scour and leachate, the soil and groundwater at the bottom of the tail slag and nearby suffer arsenic pollution.

**Key words:** gold heap leaching tailings; cyanide residue; heavy metal; soil; groundwater; pollution