

# 甘肃阳山金矿带矿区土壤环境研究分析

詹纯<sup>1</sup>, 杨虎<sup>1,\*</sup>, 赵阳<sup>2</sup>, 胡俊峰<sup>1</sup>, 王嘉<sup>1</sup>, 张明圆<sup>1</sup>

(1. 中国地质调查局军民融合地质调查中心, 成都 610036; 2. 中国地质大学, 北京 100083)

**摘要:**甘肃阳山金矿床为西秦岭成矿带超大型金矿床, 累计金蓄积量已达 400 吨; 调查分析安坝-葛条湾矿段内土壤环境状况, 为矿山建设开发治理提供参考依据。综合考虑区内地形地貌、覆被类型、土壤用途类型、土壤种类等方面, 共采集 120 件样品(95 件水平剖面样, 25 件垂直剖面样), 从水平和垂直两个方向维度对研究区立体评价土壤重金属元素 As、Cd、Hg、Pb 分布特征及变化规律, 同时对比分析了土壤中 F 和 Se 元素分布特征。研究结果: (1) 区内元素 As 含量值超标, 其余重金属元素在土壤质量等级二级以上, 其中安坝地区土壤重金属 As 元素超标率为 15%, 葛条湾 As 元素超标率为 84%; (2) As、F、Se 元素含量均值高于陇南市背景值, 推测与研究区劣质水评价中出现高砷水、高氟水有明显的关联; (3) 矿区内土壤中 As 元素含量超标与金赋存含砷矿物有关, 矿山后期建设开发需着重考虑 As 元素污染问题。

**关键词:** 阳山金矿; 土壤环境; 重金属污染; 微量元素

**DOI:** 10.48014/cesr.20230611001

**引用格式:** 詹纯, 杨虎, 赵阳, 等. 甘肃阳山金矿带矿区土壤环境研究分析[J]. 中国地球科学评论, 2023, 2(2): 8-18.

## 0 引言

土壤是自然环境系统重要组成, 也是生物赖以生存的基础, 所以其破坏污染会导致自然系统不健康发展<sup>[1]</sup>。然而, 随着现代科学技术及化工产品的普惠性应用, 在便利人们日常的同时, 致使很多污染及有害物质流入生态环境系统, 损害人们的身体健康及环境的健康发展; 工业“三废”中, 重金属物质的破坏不容小觑, 当其进入土壤中, 通过各种途径富集后, 会给生态环境及人类健康产生极其深远且严重的损害; 重金属污染具有多样性、隐蔽性、长期性、不可逆性等特征, 所以较难治理<sup>[2]</sup>。

矿产资源的开发服务于国家基础经济建设, 在开发的同时, 亦面临着各种各样的环境问题; 例如工业“三废”的产生, 以及伴随其中的砷、铅、汞等重

元素的排放, 通过元素吸附、置换等以及大气、流水等外部途径, 渗透到矿区附近土壤中, 对周边生态环境造成重金属污染; 给人类生产活动和居住环境产生不利作用, 例如出现矿区周围聚集性病症<sup>[3-5]</sup>; 所以矿产资源开发利用的同时, 如何在绿色勘察及环保技术的研发服务于矿产, 这是当今社会及国内外学者重点研究的问题<sup>[6]</sup>。

阳山金矿区尚处于矿产勘察阶段, 未进入生产施工环节, 但矿区由于先期被当地民众私自开发, 不合理合规的开发模式, 带给土壤环境一系列破坏。矿区后期生产实践过程中, 工程布设、废水废渣等排放, 矿区选冶等工作, 影响区内土壤环境质量, 对生态环境造成威胁破坏; 本文拟对区内土壤污染现状评判, 对生态环境的影响程度分析, 为矿山开发下一步工作提供前期环评参考资料。

\* 通讯作者 Corresponding author: 杨虎, 936668188@qq.com

收稿日期: 2023-06-11; 录用日期: 2023-06-27; 发表日期: 2023-06-28

## 1 研究现状

随着国内经济发展及人民生活水平的日益提高,在基础矿产开发的源头及居民消费消耗排放的尾端,不可避免有重金属元素的参与,通过“三废”、大气循环、降雨等途径,流入到土壤环境中<sup>[7]</sup>。据相关调查研究表明,全国土壤环境污染形势非常严峻,各类土壤测试点位总体污染超标为 16.1%,占全国整体耕地面积约为 20%,重金属污染的问题越发严重,进而造成土壤肥力减弱、粮食产量下降和品质降低,生态环境遭受严重破坏,也同时威胁人民身体健康<sup>[8]</sup>。

目前土壤污染成为全世界面临的难题<sup>[9]</sup>,重金属污染问题已受到各个领域的关注,与之有关的研究也迅速发展起来。由于受到土壤样品采集范围的制约,现如今土壤重金属污染开展的研究工作大部分局限在小区域范围内;而全国大范围的采样,由于规模大、难度高等原因,尚未开展全国土壤重金属污染情况整体的评价研究。查阅相关文献和

数据库,分析发现两类地区土壤中铅、砷、汞、镉、铬的浓度都大于国家的标准限值,其中农业区仅为中度污染,而工业区则处于严重污染水平,其中以重金属镉元素的污染最为突出。该研究也阐述了现有涉及工业区土壤污染的研究主要分布在我国华南、华东和东北地区,有关农业区的研究则主要是在我国的中部、东部地区,而针对我国西部地区的土壤重金属污染研究颇少。

## 2 研究区概况

### 2.1 位置及交通

研究区地处陕甘川交汇区域,行政区隶属甘肃省陇南市文县堡子坝镇,面积 1.77km<sup>2</sup>。为文县县城北北西侧,居县城中心直线距离 14km,公路距离为 31km;矿区内 212 国道沿地形盘旋而过,离武都 123km,距九寨沟 68km。矿区到成都有 3 条路径,分别途经松潘县、平武县、昭化镇;区内公路体系四通八达,较为便利(图 1)。

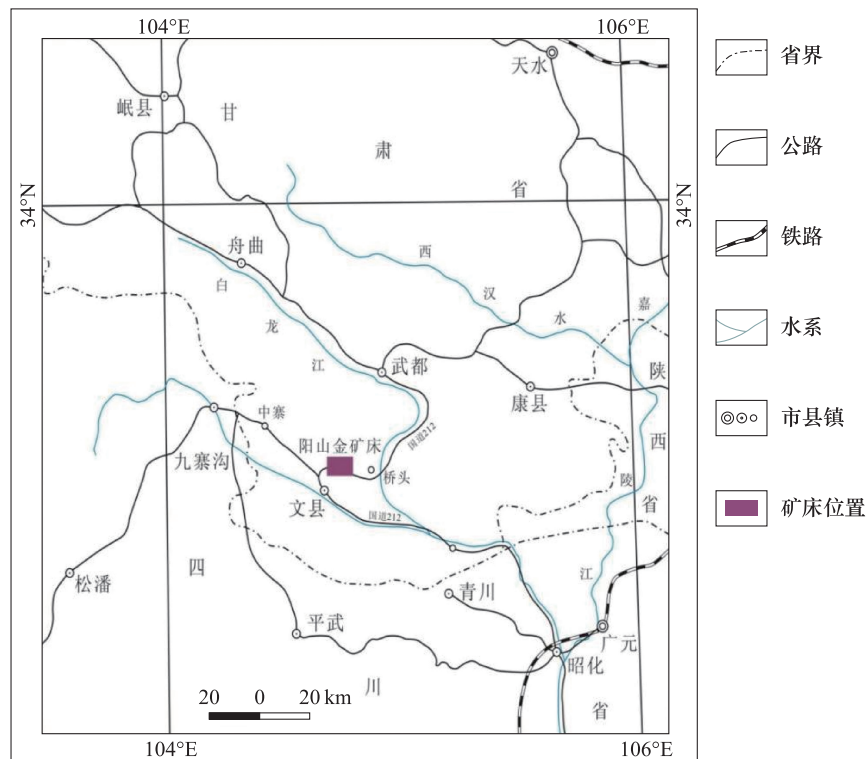


图 1 交通位置图

Fig. 1 Traffic location map

## 2.2 自然环境概况

研究区地处秦岭山系中南段,地势上南部较高北部低缓,地形起伏较大,地貌以山地为主(图 2)。区内主要径流河是马连河,为长江中上游嘉陵江水系白水江支流,在矿区西侧南北向穿过,年平均流量  $5.67\text{m}^3/\text{s}$ ,矿区内常年有季节性地表水系,多为山涧流水,随雨季暴涨暴跌。区内建有水利工程,电力资源充沛。

研究区为大陆性季风气候,平均气温为  $15.4^\circ\text{C}$ ,

其中最低气温为 1 月,平均温度为  $4.3^\circ\text{C}$ ,最高气温为 7 月,平均温度为  $25.5^\circ\text{C}$ ;区内雨季为 6—9 月,此期间内年降水量较为集中,占全年降雨量的 63%。区内人工经济林和耕地占比较高,整体植被不发育,山坡多为低矮植被,少见自然林木区,为历史原因的开荒伐树所致,雨季山体可见滑坡、垮塌等自然现象,水土流失较为严重,现地方环境保护部门已针对性地开展植树造林等工程,旨在重建林木,保持水土,服务经济生产生活。

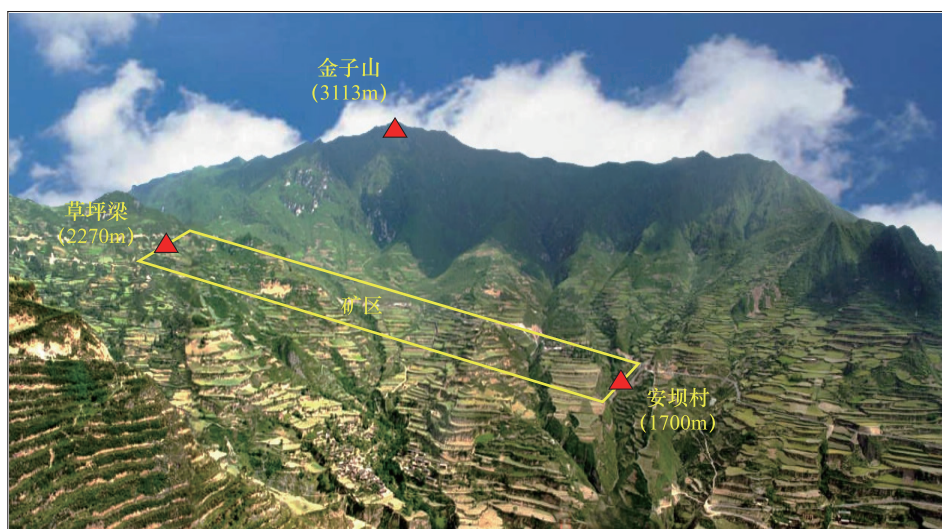


图 2 工作区地形地貌图(镜头方位  $162^\circ$ )

Fig. 2 Topographic map of the work area (lens orientation  $162^\circ$ )

## 2.3 矿区地质背景

研究区地处西秦岭造山带南亚带,在华北板块以南、扬子地块北缘和松潘-甘孜褶皱造山带以东,三个构造单元形成的三角区内(图 3)。研究区内主要赋矿地层是古生界泥盆系下统桥头岩组;区内出露大面积第四系,土壤集中分布在安坝及葛条湾矿段区域内,为主成矿区一带,土壤类型主要为风积马兰黄土、残坡积和冲洪积砾石土。据矿区 1:50000 区域地质调查报告显示,阳山金矿带岩浆作用较弱,矿带内主要出露酸性岩浆岩脉。其中产出最多的是斜长花岗斑岩,受氧化、蚀变作用等影响,其风化面颜色变化较大。风化面严重主要为浅灰-浅肉红色。据野外实地调查,花岗斑岩岩脉与构造断裂带具有一定的成因关联,岩脉的展布形态受构造作用控制。褶皱和断裂构造是研究区的主要构

造样式,松柏-梨坪断裂和白马-临江断裂是横跨整个矿区的主干断裂,它们分别产于金矿带的北部和南部;褶皱构造为金子山复式向斜。

## 2.4 地球化学特征

查阅相关资料,该区域开展过 1:20 万水系沉积物测量,该区域除了 Au 有较大异常外,As、Sb、Bi、Hg、Ag 等元素含量也具有较高的异常值。研究区内 Au 异常与 As、Hg、Sb 异常具有较好的正相关性。据 1:20 万区域化探成果表明: Au、As、Sb、Hg、Cu、Ag、Zn、Pb 等元素的异常特征值相对明显,多为集中分布的特征, Au、Hg、As 元素集中分布在高背景带,由地层时代的新老顺序,元素浓度有规律变化,从老地层到新地层,元素浓度逐渐降低;此外 Au、As、Sb、Hg 等元素异常,也与断裂带关系密切,含量从西至东逐渐降低<sup>[10]</sup>。



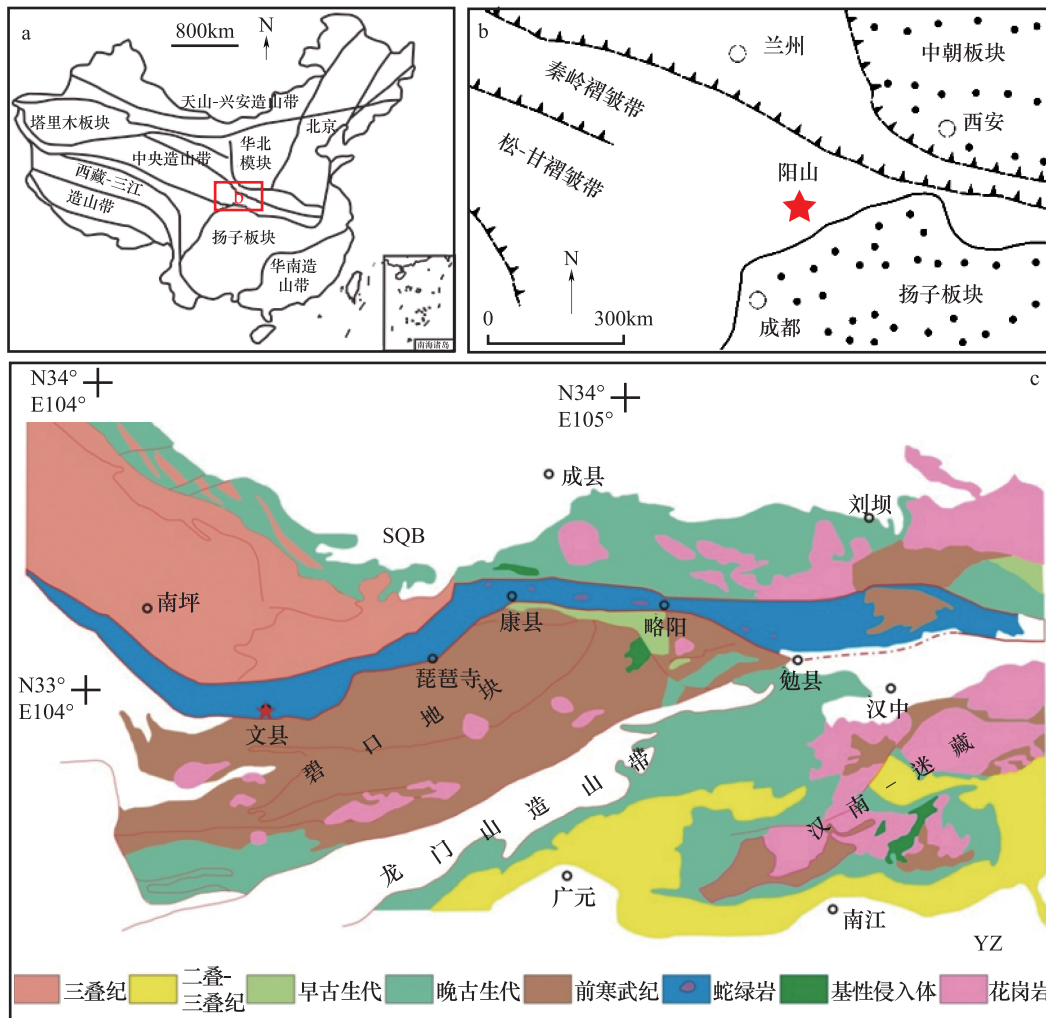


图3 研究区大地构造位置及地质背景简图

Fig. 3 Schematic map of the geotectonic location and geological background of the study area

### 3 材料和方法

#### 3.1 样品采集

根据矿区地球化学、矿床学、地质构造背景等特征,本次地球化学土壤采样工作主要沿区内国道及开阔区布设,采样路线设置符合地质调查规范要求;通过样品采集,概略性了解矿区土壤污染概况,确定研究区特征性污染物和污染类型,参照《DD2019-07 环境地质调查技术要求(1:50000)》、《DD2019-09 生态地质调查技术要求(1:50000)》采集相关土壤样品。

本次调查在研究区累计采集 120 件土壤样品,土体采样点位主要分布在安坝-葛条湾矿段(图 4)。

土壤样品中包括垂直剖面土壤样品 25 件和水平剖面土壤样品 95 件。水平剖面土样按照 100m 点距设计并采样;垂直剖面土壤样品依次自下而上分层连续采样,表层样深度为 0~20cm,由于表层下分层不明显,矿区内土层基本只出露淋溶层(A 层)和淀积层(B 层),由于淀积层厚度较厚(超过 5m),而母质层(C 层)不出露,根据采样要求,按照 20cm 采样间距连续采样,每件样品重量为均超过设计要求的 1kg,采集的土壤样品在完成晾晒后,经 200 目样筛筛分后送样,筛分后重量均超过规范要求的 200g。

#### 3.2 样品处理与测定

土壤样品中砷、汞的同时测量和硒量分析运用氢化物发生-原子荧光光谱法<sup>[12]</sup>,氟量测定采用离子选择电极法,铅、镉元素量测定则采用电

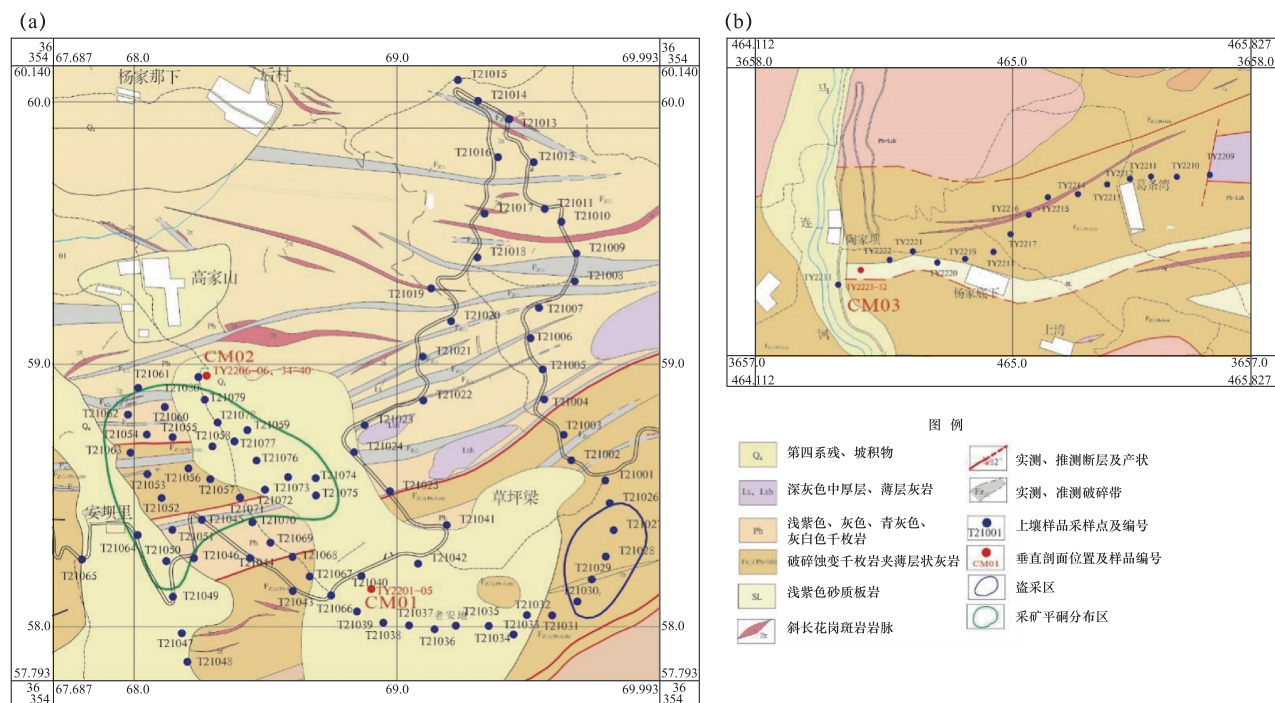


图4 阳山金矿安坝-葛条湾地区土样采集点位图

(a) 安坝-草坪梁一带; (b) 葛条湾一带

Fig. 4 Location map of soil sampling points in the Anba-Getiaowan area of the Yangshan Gold Mine

(a) the Anba-Caopingliang area; (b) the Getiaowan area

感耦合等离子体质谱法。为确保检测数据的真实性和有效性,进行重复性分析和标样分析。对测定结果进行分析,表明试验结果符合质量控制要求。

使用 Excel 表格对数据进行处理,运用软件 SPSS 19.0 进行相关性分析、软件 Surfer 2015 成图。用 3 倍标准差原则对数据进行处理,测定值如果与平均值的偏差大于三倍标准差,则被确定为异常值<sup>[11]</sup>。由于原始数据涉及保密等原因未方便展示,选取关键数据,在结果讨论中使用。

### 3.3 评价方法

根据土壤应用功能和保护目标划分研究区土壤环境功能区划<sup>[12]</sup>,其农田土壤污染评价标准执行《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995)<sup>[13]</sup>。环境土壤质量评价指标参数有单项污染指数、样本超标率、土壤综合污染指数等<sup>[14]</sup>,评价方法执行《矿山地质环境调查评价规范》(DD 2014—05)<sup>[15-17]</sup>等级划分方法。

## 4 结果与讨论

### 4.1 土壤重金属元素与微量元素分布特征

参照土壤环境标准,安坝和葛条湾矿段除 As 元素超过三级土壤环境质量标准值(40)外,其余均在一级范围内,尤其是 Cd、Hg 元素含量远低于陇南市及全国平均值(表 1)。超标点位 As 元素单项污染指数最大值为 1635,超标倍数为 15.35,超标率 17.5%(表 2),盗采区、耕地和平硐建设区域等人为活动影响较大的区域,其污染指数明显高于林地等人为活动影响小的区域,由于部分林地样品沿公路路线采集,因此,林地 As 元素异常点位区域也受到了人为活动的影响。对比野外原始记录后发现,As 元素高异常点位于盗采区域(尤其是 T21028、T21029 两个高值异常区域)和中金阳山公司平硐建设施工区域范围内,对比该区域平硐点位水体采样分析结果,显示平硐流出水体中 As 元素含量为 406 $\mu\text{g/L}$ (2021.8),远超 V 级(50~100 $\mu\text{g/L}$ )地表水标

准,旁边支沟水样 As 元素含量为  $64.90\mu\text{g/L}$ ,表明后期矿山建设开发需着重关注处理 As 元素污染问题。

Se 作为人体必需的微量元素,近年来引起了社会各界高度关注<sup>[18]</sup>。富硒土壤往往是农业发展的优势土壤资源,但硒元素过量累积也会导致人类和动物出现盲珊症、碱性病等中毒症状;而土壤环境中如果硒元素浓度过低,也会导致人和动物患上克山病、白肌病等缺硒病。土壤中 Se 元素的人为来源主要是开采矿山、有色金属冶炼和制造等;例如美国布莱克福特流域开采二叠系磷矿导致 Se 污染,造成牲畜死亡<sup>[18]</sup>。准确分析土壤 Se 含量是促进矿区生态环境治理的基本前提。测定结果表明,阳山矿区土壤微量元素 Se 平均含量为  $0.17\text{mg/kg}$ ,高于陇南平均值的  $0.09\text{mg/kg}$ ,略高于甘肃省的  $0.159\text{mg/kg}$ ,低于全国平均值。参照谭见安 1996 年提出的土壤硒元素分级标准,研究区处于潜在硒不足( $0.125\sim 0.175\text{mg/kg}$ )<sup>[19]</sup>这一等级,土壤硒元素污染风险较低,不用专门针对矿区土壤硒进行治

理。就阳山矿区而言,人类活动对土壤中硒元素起到至关重要的作用,在自然淋滤和人类长时间生产活动的影响下,土壤表层中硒元素容易流失,导致土壤中硒元素含量较低。

葛条湾地区除 4 件居民生活区域外采集的样品 As 元素含量在正常范围内,居民生活区域及下游地区采集的土壤样品 As 元素含量均超过三级土壤环境质量标准,污染物超标率达到 84%,As 元素含量  $41.20\sim 624.00\text{mg/kg}$ ,平均含量  $105.38\text{mg/kg}$ ,平均单项污染指数 263.45,最大单项污染指数达 1560,平均单项污染物超标倍数 1.63,最大单项污染物超标倍数为 14.6。葛条湾地区下游土壤垂直剖面(CM03)所采 10 件土壤样品 As 元素含量均超过Ⅲ级土壤质量等级标准,单项污染指数  $111.50\sim 155.25$ 。综合显示葛条湾地区 As 元素明显受到上游村庄人为活动影响,As 元素含量严重超标,结合地表水检测结果来看,该区域地表水体重金属 As 元素含量也超过了 V 级地表水质量标准。

表 1 阳山金矿安坝-葛条湾地区与甘肃省陇南市、全国重金属元素和微量元素平均值对比表

Table 1 Comparison of average values of heavy metals and trace elements between the Anba-Getiaowan area of Yangshan Gold Mine and Longnan City, Gansu Province and the whole country

| 元素 | 测试平均值  | 陇南 <sup>[20]</sup>              | 全国 <sup>[21]</sup>   |
|----|--------|---------------------------------|----------------------|
| As | 53.32  | 11.34                           | 10.02                |
| Cd | 0.15   | 0.12                            | 1.35                 |
| F  | 658.95 | 606.80                          | 492.20               |
| Hg | 0.05   | 0.27                            | 0.36                 |
| Pb | 23.74  | 21.81                           | 23.53                |
| Se | 0.17   | 0.09(甘肃省 0.159) <sup>[22]</sup> | 0.29 <sup>[23]</sup> |

注:单位 Cd、Hg 为  $10^{-9}$ ,其余为  $10^{-6}$ 。

## 4.2 土壤重金属元素与微量元素垂向变化特征

本研究累计完成了 3 条典型土壤垂直剖面测量。其中 CM01 位于安坝上游土地利用类型为林地,土壤覆被类型为乔木林地,土壤类型为黄土;CM02 位于安坝中游土地利用类型为耕地,土壤覆被类型为花椒林地,土壤类型为黄土;CM03 位于葛条湾下游土地利用类型为荒地,土壤覆被类型为橄榄树林地,土壤类型为含砾石褐土。

通过相关分析显示(表 3),As、Se 两种元素相关系数为 0.941,整体呈现显著正相关,推测阳山地区 Se 元素整体高于陇南市背景值与该区域阳山金矿含 As 较高有一定相关性(阳山地区 Se 平均值 0.17,陇南市则为 0.09)。As 与 F、Pb 两种元素相关系数分别为 0.704 和 0.692,整体呈现正相关,这在一定程度上切合了该区域内劣质水评价中出现的高氟水和高砷水。Cd、F 两种元素相关系数为一 0.621,整体呈现负相关。

表 2 阳山金矿安坝-葛条湾地区 As 元素土壤污染统计分析  
Table 2 Statistical analysis of elemental As soil pollution in the Anba-Getiaowan area of the Yangshan Gold Mine

| 样品原号   | 地区  | As 元素含量<br>(mg/kg) | 单项污<br>染指数 | 单项污染物<br>超标倍数 | 污染物<br>超标率 | 综合污染指数                             | 备注                    |
|--------|-----|--------------------|------------|---------------|------------|------------------------------------|-----------------------|
| T21006 | 安坝  | 54.50              | 136.25     | 0.36          | 15%        |                                    | 草坪梁北侧林地               |
| T21011 |     | 58.70              | 146.75     | 0.47          |            |                                    |                       |
| T21017 |     | 110.00             | 275.00     | 1.75          |            |                                    |                       |
| T21021 |     | 44.80              | 112.00     | 0.12          |            |                                    | 荒地                    |
| T21027 |     | 91.40              | 228.50     | 1.29          |            |                                    | 盗采区                   |
| T21028 |     | 417.00             | 1042.50    | 9.43          |            |                                    |                       |
| T21029 |     | 654.00             | 1635.00    | 15.35         |            |                                    | 灌木林地                  |
| T21043 |     | 79.80              | 199.50     | 1.00          |            |                                    |                       |
| T21052 |     | 179.00             | 447.50     | 3.48          |            |                                    | 平硐、耕地分布区              |
| T21056 |     | 81.10              | 202.75     | 1.03          |            |                                    |                       |
| T21063 |     | 114.00             | 285.00     | 1.85          |            |                                    |                       |
| T21073 |     | 87.90              | 219.75     | 1.20          |            |                                    |                       |
| T21075 |     | 116.00             | 290.00     | 1.90          |            |                                    |                       |
| T21079 |     | 44.20              | 110.50     | 0.11          |            |                                    |                       |
| TY2213 | 葛条湾 | 46.20              | 115.50     | 0.16          | 84%        | 由于只有 As 超标，<br>综合污染指数与单<br>项污染指数一致 | 村庄生活区域范围内             |
| TY2214 |     | 54.80              | 137.00     | 0.37          |            |                                    |                       |
| TY2215 |     | 624.00             | 1560.00    | 14.60         |            |                                    |                       |
| TY2216 |     | 105.00             | 262.50     | 1.63          |            |                                    |                       |
| TY2217 |     | 216.00             | 540.00     | 4.40          |            |                                    |                       |
| TY2218 |     | 70.20              | 175.50     | 0.76          |            |                                    |                       |
| TY2219 |     | 52.10              | 130.25     | 0.30          |            |                                    |                       |
| TY2220 |     | 354.00             | 885.00     | 7.85          |            |                                    |                       |
| TY2221 |     | 64.00              | 160.00     | 0.60          |            |                                    |                       |
| TY2222 |     | 67.00              | 167.50     | 0.68          |            |                                    |                       |
| TY2233 |     | 41.20              | 103.00     | 0.03          |            |                                    | 村庄生活区域下游<br>垂直剖面 CM03 |
| TY2223 |     | 62.10              | 155.25     | 0.55          |            |                                    |                       |
| TY2224 |     | 62.00              | 155.00     | 0.55          |            |                                    |                       |
| TY2225 |     | 56.30              | 140.75     | 0.41          |            |                                    |                       |
| TY2226 |     | 51.90              | 129.75     | 0.30          |            |                                    |                       |
| TY2227 |     | 58.30              | 145.75     | 0.46          |            |                                    |                       |
| TY2228 |     | 47.00              | 117.50     | 0.18          |            |                                    |                       |
| TY2229 |     | 44.60              | 111.50     | 0.12          |            |                                    |                       |
| TY2230 |     | 43.30              | 108.25     | 0.08          |            |                                    |                       |
| TY2231 |     | 44.60              | 111.50     | 0.12          |            |                                    |                       |
| TY2232 |     | 48.40              | 121.00     | 0.21          |            |                                    |                       |



表 3 安坝-葛条湾地区重金属元素、微量元素相关性分析

Table 3 Correlation analysis of heavy metal and trace elements in the Anba-Getiaowan area

|    | As      | Cd       | F       | Hg     | Pb      | Se |
|----|---------|----------|---------|--------|---------|----|
| As | 1       |          |         |        |         |    |
| Cd | -0.281  | 1        |         |        |         |    |
| F  | 0.704** | -0.621** | 1       |        |         |    |
| Hg | 0.295   | 0.255    | -0.054  | 1      |         |    |
| Pb | 0.692** | -0.256   | 0.595** | 0.352  | 1       |    |
| Se | 0.941** | -0.181   | 0.602** | 0.453* | 0.696** | 1  |

① 分析样本总量包括所有的 25 件土壤垂直剖面土壤样品。

② \*\* 在 0.01 水平上明显相关。

③ \* 在 0.05 水平上明显相关。

结合土壤垂直剖面重金属元素与微量元素含量垂向变化特征来看(图 5),位于安坝地区乔木林地的 CM01 剖面各元素垂向变化特征不明显,随着深度的增加,Pb、Cd、Hg、Se 元素含量整体呈现降低趋势,F 元素含量则表现为上升趋势,As 元素含量变化无明显特征。位于安坝地区花椒树耕地区域的 CM02 剖面各元素垂向变化特征相关性整体较好,各元素整体表现为随着深度的增加而降低,尤其是 60cm 以下深度 As、Hg、Pb、Se 元素含量变化相关性较高,近地表各元素受人工耕作扰动影响,各元素含量垂向上变化无明显规律;Cd 和 F 元素含量整体表现呈负相关波动性降低。位于葛条湾地区橄榄树荒地区域的 CM03 剖面各元素垂向变化特征规律性较差,主体表现为波动周期性变化,尤其是 Hg、F、Pb、Se 元素整体呈现出明显的“4 峰 3 谷”特征,波峰分别位于-200~-160cm、-120~-100cm、-60~-40cm、-20~0cm 处,波谷位于-140~-120cm、-100~-80cm、-40~-20cm 处,说明该区域土壤沉积厚度在 2m 以内经过至少三次韵律沉积,淋滤作用使其各元素含量大小出现波动性韵律性变化;As 元素整体表现为随深度的增加,元素含量递增的趋势;Cd 元素含量垂向变化特征整体表现为-200cm~-40cm 变化不明显,40cm 以浅含量明显增加,推测为受人为扰动影响所致,但变化的起伏特征恰好与 Hg、F、Pb、Se 四种元素相对。

综合来看,CM01、CM02、CM03 三条土壤垂向

剖面平均 As 元素含量分别为 14.16mg/kg、18.38mg/kg、51.85mg/kg,其中 CM01 是三条剖面中 As 元素含量的最低值,接近陇南市背景值 11.34mg/kg,说明林地区域内 As 元素污染较低,受人工影响少,同样是采集自黄土分布区域的 CM02 剖面 As 元素测试值较林地区域稍高,明显受到人为活动的影响,而采集自残坡积成因的含砾石褐土(CM03)As 元素测试值最高,且超过三级土壤质量标准,推测阳山安坝地区出露厚度较大的黄土非基岩原位风化生成,为外来风积成因产物。

### 4.3 矿山地质环境影响评价

矿区地貌属高中山区,矿体出露大多在 1500m 以上。植被以灌木为主,缓坡处则多种以花椒,核桃及其他农作物,矿区没有工业污染,客观环境容量大。研究区内自然环境下人们的生活废弃物堆放、污水排放,对土壤环境影破坏较小。但随着以后矿山开发建设、人类活动的加剧,土壤环境质量有进一步变坏的可能<sup>[24]</sup>。下一步阳山金矿的开采和选冶,不可避免地会给矿区及周边土壤环境带来更为严重的重金属污染问题。对其进行土壤环境调查分析,对评价阳山金矿带及周边区域土壤环境重金属污染情况具有重要意义。同时有利于我们了解矿区土壤环境现状,客观评价矿区对周边环境造成的污染,这也是开展土壤污染修复的前提,也为生态环境治理提供了数据支撑和科学的参考依据。



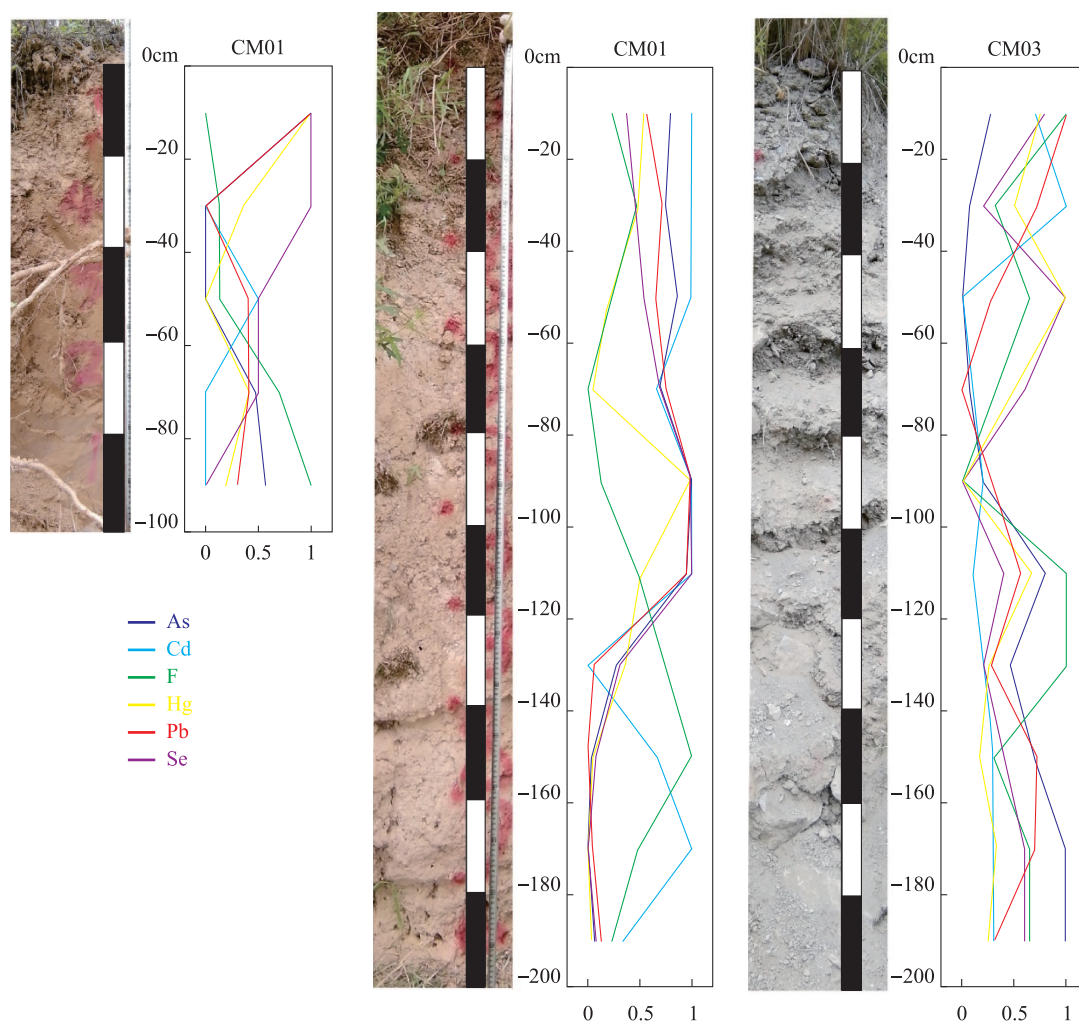


图5 安坝-葛条湾地区重金属元素与微量元素含量垂向变化特征

(图中各元素含量均为最值均一化处理后结果,无量纲)

Fig. 5 Characteristics of vertical changes in the content of heavy and trace elements in the Amba-Getiaowan area

(The content of each element in the figure is the result of the most-valued homogenization process, without dimension)

## 5 结论

研究表明:(1)研究区重金属元素中 As 元素含量超标,其余重金属元素含量均在土壤质量等级二级以上,其中安坝地区土壤重金属 As 元素超标率为 15%,葛条湾地区 As 元素超标率为 84%,区内地表水体重金属 As 元素含量超过 V 级地表水质量标准;(2)调查区内土壤 As、F、Se 元素含量均高于陇南市背景值,调查推断于区内劣质水中高砷水、高氟水有明显的关联;(3)矿区内土壤中 As 元素含量超标与金赋存矿物含砷黄铁矿有关,在后续矿山开发建设中,需依据相关环保要求,对民众

生活聚集区水质等要素重点考察,解决 As 元素污染问题;(4)此次采样点位主要为公路沿线及开阔地,当地民众生活区采样点位应进一步加密,更加详实可靠地反映土壤重金属污染对民众生活的影响程度。

**利益冲突:**作者声明无利益冲突。

## 参考文献(References)

- [1] 甘能俭. 南宁市武鸣区灰岩矿地质环境评价及复垦方向优选研究[D]. 南宁:广西大学,2022.
- [2] 王天欣. 长春市建成区土壤重金属地球化学特征与风险评估[D]. 长春:吉林大学,2021.

- [3] 雷建容,王谢,陈春秀,等. 简阳市土壤重金属含量分析及污染评价[J]. 西南农业学报, 2019, 32(11): 2688-2692.  
<https://doi.org/10.16213/j.cnki.scjas.2019.11.029>
- [4] 罗谦,李英菊,秦樊鑫,等. 铅锌矿区周边耕地土壤团聚体重金属污染状况及风险评估[J]. 生态环境学报, 2020, 29(3): 605-614.  
<https://doi.org/10.16258/j.cnki.1674-5906.2020.03.021>
- [5] 梁涛,曹红英,吴恒志. 典型城市排污河不同介质中重金属的含量及分布特征[J]. 应用基础与工程科学学报, 2005(S): 160-169.
- [6] 熊万胜. 凡口铅锌矿地质环境综合治理方法[J]. 现代矿业, 2014(12): 145-146, 151.  
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-6082.2014.12.046>
- [7] 蒋永荣,梁英,张学洪,等. 铅锌矿区不同程度尾矿砂重金属污染土壤的纵向微生物群落结构分析[J]. 生态环境学报, 2019, 28(10): 2079-2088.  
<https://doi.org/10.16258/j.cnki.1674-5906.2019.10.019>
- [8] 刘凤. 南京市典型工业区土壤健康风险评价及生态毒理诊断[D]. 南京: 南京大学, 2013.
- [9] 陈静,李鸿博,王琳玲,等. 一种重金属污染土壤综合淋洗修复方法及系统[P]. 中国专利: CN106216379A, 2016. 12. 14.
- [10] 姚保奎. 突发重金属污染事故的环境风险研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2010.
- [11] 杨亚明. 甘肃文县阳山金矿元素地球化学特征及深部预测[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2018.
- [12] 邵亚. 桂林富硒长寿区小流域地理环境中硒分布特征、控制因素及其生态效应[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.
- [13] 李泽威,钟建彪,王明华,等. 恩施市龙凤镇土壤镉元素地球化学特征及影响因素分析[J]. 资源环境与工程, 2017, 31(5): 563-567.  
<https://doi.org/10.16536/j.cnki.issn.1671-1211.2017.05.011>
- [14] 尚佳楠. 鹤壁市矿山地质环境调查评价及恢复治理研究[D]. 西安: 长安大学, 2020.
- [15] 高杨. 长治盆地浊漳南源流域土壤环境质量评价[J]. 西部探矿工程, 2021, 33(2): 168-172.  
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-5716.2021.02.053>
- [16] 李美忠. 阳泉市采煤区地质环境评价指标体系及方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2018.
- [17] 何晓磊. 基于煤矸石堆放引起土壤污染的矿山地质环境研究[J]. 华北自然资源, 2022, (2): 87-90, 94.
- [18] 廖振环. 湖南谭家山煤矿重点区土壤重金属地球化学特征及污染评价[D]. 湘潭: 湖南科技大学, 2020.
- [19] 伊芹,程铤,尚文郁. 土壤硒的存在特征及分析测试技术研究进展[J]. 岩矿测试, 2021, 40(4): 461-475.  
<https://doi.org/10.15898/j.cnki.11-2131/td.202006230095>
- [20] 谭见安主编. 环境生命元素与克山病生态化学地理研究[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 1996.
- [21] 刘建宏,张新虎,牛洪斌,等. 甘肃省区域地球化学场特征[J]. 甘肃地质, 2015, 24(4): 1-15.
- [22] 任天祥,汪明启. 中国浅表地球化学场基本特征[J]. 矿床地质, 2004(201): 41-53.
- [23] 朱传凤,贾三春. 甘肃省土壤中硒背景值的调查研究[J]. 甘肃环境研究与监测, 1991, 4(2): 4-7.
- [24] 侯青叶. 中国土壤地球化学参数[M]. 北京: 地质出版社, 2020.
- [25] 李金凤,赵晓昕. 浅析河北省崇礼县东坪金矿金矿床开采技术条件[J]. 中国科技博览, 2016, (9): 41.

## Soil Environmental Study Analysis of Mining Areas in the Yangshan Gold Belt, Gansu

ZHAN Chun<sup>1</sup>, YANG Hu<sup>1,\*</sup>, ZHAO Yang<sup>2</sup>,  
HU Junfeng<sup>1</sup>, WANG Jia<sup>1</sup>, ZHANG Mingyuan<sup>1</sup>

(1. Civil-Military Integration Geological Survey Center, China Geological Survey, Chengdu 610036, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The Yangshan gold deposit in Gansu province is a super large gold deposit in the West Qinling metallogenic belt, with a cumulative gold accumulation of 400 tons. The soil environment conditions in Anba-Getiaowan ore section were investigated and analyzed to provide a reference basis for mine construction, development and treatment. A total of 120 samples (95 horizontal profile samples and 25 vertical profile samples) were collected, taking into account the topography, cover type, soil use type and soil type in the study area, and the distribution characteristics and change patterns of soil heavy metals As, Cd, Hg and Pb in the study area were evaluated sterically from both horizontal and vertical dimensions. Meanwhile, the distribution characteristics of F and Se elements in soil were compared and analyzed. The results of the study showed that: (1) the value of heavy metal elements As exceeded the standard, and the rest of the heavy metal elements were above the second grade of soil quality, among which the exceedance rate of heavy metal elements As in Anba area was 15%, and that in Getiaowan area was 84%; (2) the average value of As, F and Se content was higher than the background value of Longnan City, which was speculated to be significantly related to the presence of high arsenic and high fluorine water in the evaluation of poor quality water in the study area; (3) the excessive content of As element in the soil in the mining area is related to the occurrence of arsenic-containing minerals in gold, and As element pollution problem should be emphasized in the later construction and development of the mine.

**Keywords:** Yangshan Gold Mine; soil environment; heavy metal pollution; trace elements

**DOI:** 10.48014/cesr.20230611001

**Citation:** ZHAN Chun, YANG Hu, ZHAO Yang, et al. Soil environmental study analysis of mining areas in the Yangshan Gold Belt, Gansu [J]. Chinese Earth Sciences Review, 2023, 2(2): 8-18.

Copyright © 2023 by author(s) and Science Footprint Press Co., Limited. This article is open accessed under the CC-BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

