

# 辽宁省金矿周边表层土壤重金属超标特征与矿床成因之间的关系

隋真龙<sup>1</sup>, 王大鹏<sup>1\*</sup>, 张琦<sup>1</sup>, 魏亚美<sup>1</sup>, 王诚煜<sup>2</sup>, 李玉超<sup>2</sup>

<sup>1</sup>辽宁省地质矿产调查院有限责任公司, 辽宁 沈阳

<sup>2</sup>辽宁省地质勘探矿业集团, 辽宁 沈阳

收稿日期: 2021年3月3日; 录用日期: 2022年1月18日; 发布日期: 2022年1月25日

## 摘要

辽宁省金矿床周边表层土壤重金属超标主要是由金矿开采造成的, 且与矿床成因类型密切相关。韧性剪切带型金矿周边表层土壤中超标重金属组合(各元素报出率)为: Cr (100%) + Cu (100%) + Ni (82%) + Cd (65%) + Pb (17%); 变质-岩浆热液叠生型金矿的为: Cd (100%) + As (100%) + Pb (100%) + Zn (100%) + Cu (100%) + Cr (79%) + Ni (29%) + Hg (21%); 陆相火山岩型金矿的为: Cd (90%) + Cu (90%) + Pb (70%) + As (40%) + Zn (40%) + Hg (10%) + Ni (10%) + Cr (10%); 岩浆热液型的为: Cu (100%) + Cd (100%) + Pb (100%) + Cr (100%) + Ni (100%) + Hg (75%) + As (75%)。超标重金属元素组合与矿床成因特征对应良好。

## 关键词

辽宁省, 金矿, 表层土壤, 重金属超标, 矿床成因

## Relationship between the Characteristics of Excessive Heavy Metals in Surface Soil around Gold Deposits in Liaoning Province and the Genesis of Ore Deposits

Zhenlong Sui<sup>1</sup>, Dapeng Wang<sup>1\*</sup>, Qi Zhang<sup>1</sup>, Yamei Wei<sup>1</sup>, Chengyu Wang<sup>2</sup>, Yuchao Li<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Liaoning Geological and Mineral Survey Institute CO., Ltd., Shenyang Liaoning

<sup>2</sup>Liaoning Geological Exploration and Mining Group, Shenyang Liaoning

Received: Mar. 3<sup>rd</sup>, 2021; accepted: Jan. 18<sup>th</sup>, 2022; published: Jan. 25<sup>th</sup>, 2022

\*通讯作者。

文章引用: 隋真龙, 王大鹏, 张琦, 魏亚美, 王诚煜, 李玉超. 辽宁省金矿周边表层土壤重金属超标特征与矿床成因之间的关系[J]. 地球科学前沿, 2022, 12(1): 96-104. DOI: 10.12677/ag.2022.121011

## Abstract

Excess heavy metals in surface soil around gold deposits in Liaoning Province are mainly caused by gold mining, and are closely related to the genetic types of deposits. In the surface soil around ductile shear zone type gold deposit, the combination of excessive heavy metal elements (the reported rate of each element) is: Cr (100%) + Cu (100%) + Ni (82%) + Cd (65%) + Pb (17%). The gold deposits of metamorphic and magmatic hydrothermal superposition type are Cd (100%) + As (100%) + Pb (100%) + Zn (100%) + Cu (100%) + Cr (79%) + Ni (29%) + Hg (21%). The continental volcanic rock type gold deposits are Cd (90%) + Cu (90%) + Pb (70%) + As (40%) + Zn (40%) + Hg (10%) + Ni (10%) + Cr (10%). The magmatic hydrothermal gold deposits are Cu (100%) + Cd (100%) + Pb (100%) + Cr (100%) + Ni (100%) + Hg (75%) + As (75%). The association of excessive heavy metal elements corresponds well to the genetic characteristics of deposits.

## Keywords

Liaoning Province, Gold Deposit, Topsoil, The Excess of Heavy Metal, Deposit Genesis

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 前言

截至 2018 年,辽宁省累计开采金矿(床、点)达百余处(如图 1),伴随着多年的开采和选冶,矿区周边重金属污染问题日趋严重,多种具有潜在毒性的重金属进入土壤并存储、累积和迁移,经农作物富集通过食物链进入人体,严重危害矿区人畜安全,破坏矿业开发可持续发展[1] [2]。为查明污染现状,通过《全省有色资源开采土壤环境质量调查》项目对辽宁省 123 家金矿周边表层土壤进行采样,对 6164 件土壤样品中的铜、铅、锌、镉、铬、镍、砷、汞的全量和 pH 值进行测试分析,检测结果显示重金属超标点位占比 16.77%,超标点位主要位于矿区(如图 2)。本文依托项目资料,将采样矿山按成因类型进行划分,选取其中典型成矿带的代表性矿床进一步探究矿区周边表层土壤超标重金属元素组合与矿床成因之间的关系。

## 2. 辽宁省金矿类型划分

辽宁省地处欧亚大陆东岸、柴达木 - 华北板块东部,境内地层齐全、火山活动强烈、岩浆侵入频繁、韧性构造和脆性构造发育,矿产资源丰富,尤其含金岩系较发育,是我国重要金矿产地,以岩金为主,伴生金、砂金次之。根据成矿物质来源、成矿环境和成矿作用可将其分为韧性剪切带型、变质 - 岩浆热液叠生型、陆相火山岩型、岩浆热液型、砂砾岩型和河相冲积型(砂金矿型) [3] [4] [5] [6]。由于辽宁省砂砾岩型和河相冲积型金矿数量有限,因此本文不对其进行总结分析。

## 3. 不同成因类型矿床周边表层土壤重金属超标元素组合特征

### 3.1. 韧性剪切带型矿床

矿床基底岩系常发育有华力西期前的东西向韧性剪切带和印支期 - 燕山早期的北东向韧性剪切带,

矿体主要赋存于两期韧性剪切带交会部位的糜棱岩中。主要分布于朝阳建平 - 宝国老和阜新 - 锦州 2 个成矿区带, 典型矿床包括排山楼金矿和宝国老金矿[3]。本次选取该类型不同成矿区带的 17 处矿床进行对比分析, 结果显示所有矿区周边的表层土壤均体现出 Cr、Cu 超标, 此外建平 - 宝国老一带的矿床周边还普遍显示 Cd、Ni 超标。虽然分属不同地区的不同成矿带, 但周边表层土壤中报出的超标重金属元素组合却有着高度的统一性, 主要体现在 Cr + Cu 组合上。综上, 辽宁省该类金矿的开采引起周边表层土壤重金属超标组合(各元素报出率)为: Cr (100%) + Cu (100%) + Ni (82%) + Cd (65%) + Pb (18%)。详见表 1 和图 3。

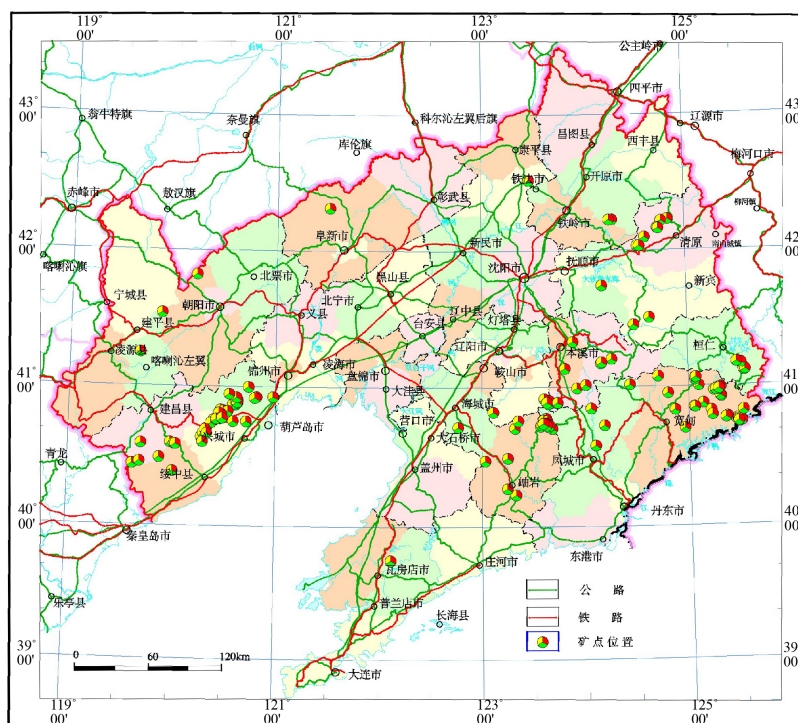


Figure 1. Distribution map of gold deposits (or points) in Liaoning Province  
图 1. 辽宁省金矿床(点)分布图

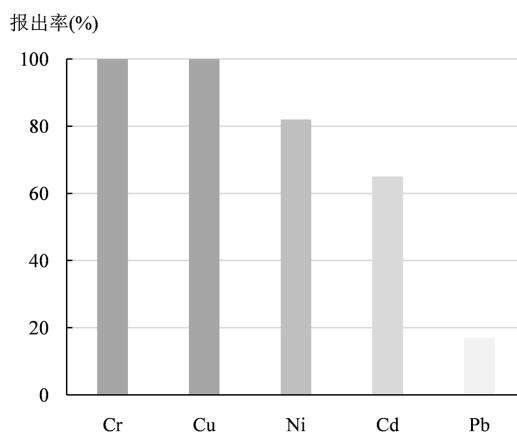
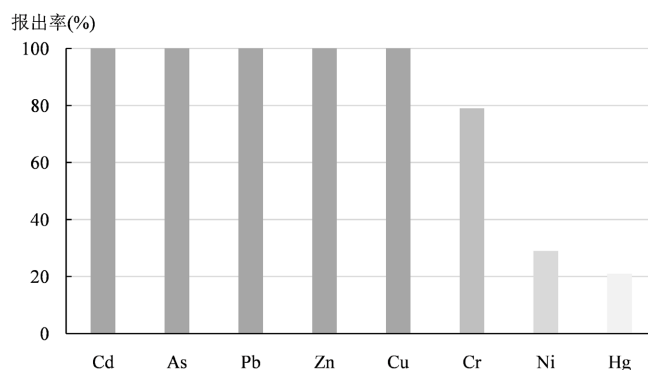


Figure 2. Column diagram of the reported rate of excessive heavy metal elements in surface soil around ductile shear zone type gold deposits  
图 2. 韧性剪切带型矿床周边表层土壤重金属超标元素报出率柱状图



**Figure 3.** Column diagram of the reported rate of excessive heavy metal elements in the surface soil around the metamorphic-magmatic hydrothermal superimposed deposits

**图 3.** 变质-岩浆热液叠生型矿床周边表层土壤重金属超标元素报出率柱状图

**Table 1.** List of excessive heavy metal element assemblage in surface soil around ductile shear zone type gold deposits

**表 1.** 韧性剪切带型矿床周边表层土壤重金属超标元素组合一览表

| 矿床(点)序号 | 所处成矿区带 | 超标重金属元素组合      |
|---------|--------|----------------|
| 1       | 阜新-锦州  | Cr、Cu          |
| 2       | 阜新-锦州  | Cr、Cu          |
| 3       | 建平-宝国老 | Cr、Cu          |
| 4       | 建平-宝国老 | Cr、Cu、Ni、Cd    |
| 5       | 建平-宝国老 | Cr、Cu、Ni、Cd    |
| 6       | 建平-宝国老 | Cr、Cu、Ni、Cd    |
| 7       | 建平-宝国老 | Cr、Cu、Ni、Cd    |
| 8       | 建平-宝国老 | Cr、Cu、Ni、Cd    |
| 9       | 建平-宝国老 | Cr、Cu、Ni、Cd    |
| 10      | 建平-宝国老 | Cr、Cu、Ni、Cd    |
| 11      | 建平-宝国老 | Cr、Cu、Ni、Cd    |
| 12      | 建平-宝国老 | Cr、Cu、Ni、Cd、Pb |
| 13      | 建平-宝国老 | Cr、Cu、Ni、Cd、Pb |
| 14      | 建平-宝国老 | Cr、Cu、Ni、Cd、Pb |
| 15      | 建平-宝国老 | Cr、Cu、Ni       |
| 16      | 建平-宝国老 | Cr、Cu、Ni       |
| 17      | 建平-宝国老 | Cr、Cu、Ni       |

该类矿床的矿石成分简单，黄铁矿为主要载金矿物，其次为黄铜矿、磁黄铁矿、钛铁矿、磁铁矿，少量方铅矿、闪锌矿、褐铁矿等[7] [8] [9]。Cu 的普遍超标主要由黄铜矿引起；黄铁矿、磁黄铁矿可能是引起 Ni、Cr 超标的主要原因；但由于该类金矿矿石中方铅矿、闪锌矿组分较少，且无毒砂，因此该类矿床开采过程中不易引起周边土壤 Pb、Zn、As 超标，这是该类矿床与其他类型矿床的主要差异所在；此外，Cd 的超标应该主要由选矿等人类活动引起，与矿床成因关系不大。

### 3.2. 变质 - 岩浆热液叠生型金矿

主要产于古元古界辽河群大石桥岩组二段、三段中，含矿岩系岩石以大理岩为主，典型矿床包括白云金矿和小佟家堡金矿等；盖县岩组千枚岩受中印支期似斑状黑云母二长花岗岩侵入岩体影响也可成矿，如猫岭金矿。主要分布于丹东青城子和营口盖州 - 大石桥等地[3] [4] [5] [6]。本次选取 14 处典型矿床进行总结分析，发现该类矿床开采过程中造成周边表层土壤超标重金属元素种类较多，14 处矿区周边均检测出 Cd、As、Pb、Zn、Cu 超标，11 处检测出 Cr 超标，此外丹东青城子一带金矿周边普遍 Ni 超标，营口盖州地区的矿床普遍 Hg 超标。虽然不同地区成矿带的矿床周边土壤重金属超标元素组合存在一定差异，但整体具有明显的统一性，其超标重金属元素组合(各元素报出率)为：Cd (100%) + As (100%) + Pb (100%) + Zn (100%) + Cu (100%) + Cr (79%) + Ni (29%) + Hg (21%)。详见表 2 和图 4。

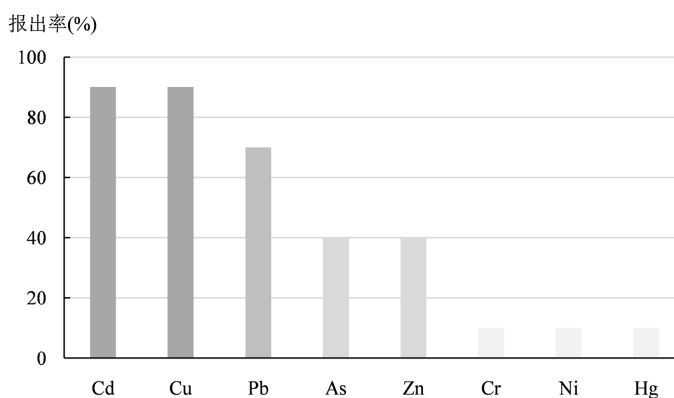


Figure 4. Column diagram of the reported rate of excessive heavy metal elements in surface soil around continental volcanic deposits

图 4. 陆相火山岩型矿床周边表层土壤重金属超标元素报出率柱状图

Table 2. List of excessive heavy metal element assemblages in surface soil around metamorphic-magmatic hydrothermal superimposed deposits

表 2. 变质 - 岩浆热液叠生型矿床周边表层土壤重金属超标元素组合一览表

| 矿床(点)序号 | 所处成矿区带 | 超标重金属元素组合            |
|---------|--------|----------------------|
| 1       | 丹东青城子  | Cd、As、Pb、Zn、Cu、Cr、Ni |
| 2       | 丹东青城子  | Cd、As、Pb、Zn、Cu、Cr、Ni |
| 3       | 丹东青城子  | Cd、As、Pb、Zn、Cu、Cr、Ni |
| 4       | 丹东青城子  | Cd、As、Pb、Zn、Cu、Cr、Ni |
| 5       | 营口盖州   | Cd、As、Pb、Zn、Cu、Hg    |
| 6       | 营口盖州   | Cd、As、Pb、Zn、Cu、Hg    |
| 7       | 营口盖州   | Cd、As、Pb、Zn、Cu、Hg    |
| 8       | 营口大石桥  | Cd、As、Pb、Zn、Cu、Cr    |
| 9       | 营口大石桥  | Cd、As、Pb、Zn、Cu、Cr    |
| 10      | 营口大石桥  | Cd、As、Pb、Zn、Cu、Cr    |
| 11      | 营口大石桥  | Cd、As、Pb、Zn、Cu、Cr    |
| 12      | 营口大石桥  | Cd、As、Pb、Zn、Cu、Cr    |
| 13      | 营口大石桥  | Cd、As、Pb、Zn、Cu、Cr    |
| 14      | 营口大石桥  | Cd、As、Pb、Zn、Cu、Cr    |

该类矿床原生矿石中金属矿物种类繁多,主要有黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、自然金、银金矿、自然银、自然铋、磁铁矿、斑铜矿、黝铜矿、辉铜矿、辉钼矿、针铁矿、锡石、毒砂等,载金矿物主要为黄铁矿,其次为毒砂和磁黄铁矿,如营口盖州的猫岭金矿的载金矿物就主要为毒砂[10][11],所以该类金矿周边土壤普遍显示 As 超标,这是不同于其他类型矿床的典型特征;而 Cu 的超标则主要与黄铜矿等铜族矿物有关;此外,该类矿床主要赋存于辽河群沉积-变质岩系中,该岩系中普遍富 Pb、Zn、Mo、As 元素,成矿区域化探普遍显示 As-Ag-Au-Pb-Zn 组合异常[12][13],所以土壤中 As、Pb、Zn 的超标也与成矿区域背景值有很大关系;Ni、Cr 的超标可能由黄铁矿、磁黄铁矿引起;而 Cd、Hg 的超标则应该主要与选矿等人类活动有关。

### 3.3. 陆相火山岩型金矿

产于中生代火山盆地及火山断陷盆地边缘,矿床在断裂中或爆破角砾岩筒的顶部。主要分布于辽西,包括建昌-葫芦岛和义县-北票成矿带,典型矿床有建昌县大石沟金矿、义县红石砬子金矿、北票二道沟金矿和葫芦岛水泉金矿等[3][4][5][6]。通过对 10 处典型金矿进行统计分析发现,该类矿床周边以 Cd、Cu、Pb 超标为主。义县-北票一带还普遍显示 As、Zn 超标。综上,火山岩型金矿的开采引起的周边表层土壤重金属超标元素组合(各元素报出率)为: Cd (90%) + Cu (90%) + Pb (70%) + As (40%) + Zn (40%) + Hg (10%) + Ni (10%) + Cr (10%)。如表 3。

**Table 3.** List of excessive heavy metal element assemblages in surface soil around continental volcanic deposits  
**表 3.** 陆相火山岩型矿床周边表层土壤重金属超标元素组合一览表

| 矿床(点)序号 | 所处成矿区带 | 超标重金属元素组合         |
|---------|--------|-------------------|
| 1       | 建昌     | Cd、Cu、Pb          |
| 2       | 建昌     | Cd、Cu、Pb          |
| 3       | 建昌     | Cd、Cu、Pb          |
| 4       | 建昌     | Cd、Cu、Hg          |
| 5       | 葫芦岛    | Cd、Cu             |
| 6       | 葫芦岛    | Cu                |
| 7       | 义县     | Cd、Pb、As、Zn、Ni、Cr |
| 8       | 北票     | Cd、Cu、Pb、As、Zn    |
| 9       | 北票     | Cd、Cu、Pb、As、Zn    |
| 10      | 北票     | Cd、Cu、Pb、As、Zn    |

该类矿床原生矿石中金属矿物主要为黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、黝铜矿、银金矿,约占矿石矿物总量的 99% 以上,载金矿物主要为黄铁矿,其次为黄铜矿、方铅矿和闪锌矿[14][15],金矿周边伴有 Cu、Pb、Zn、Ag、Sb、Hg 等异常[16][17],因此该类矿床周边土壤普遍 Cu、Pb、Zn 超标;而葫芦岛地区该类金矿石中铅锌矿组分明减少,因此主要体现出 Cu 超标[18]。此外,经聂飞等(2013 年)研究发现,北票-义县一带该类矿床的金银矿物中 As 最高含量为 4400  $\mu\text{g/g}$  (平均 2150  $\mu\text{g/g}$ ),载金黄铁矿中 As 含量也较高[14],因此北票-义县一带金矿周边普遍 As 超标。Cd 报出率也较高,其超标应该主要与选矿等人类活动有关。

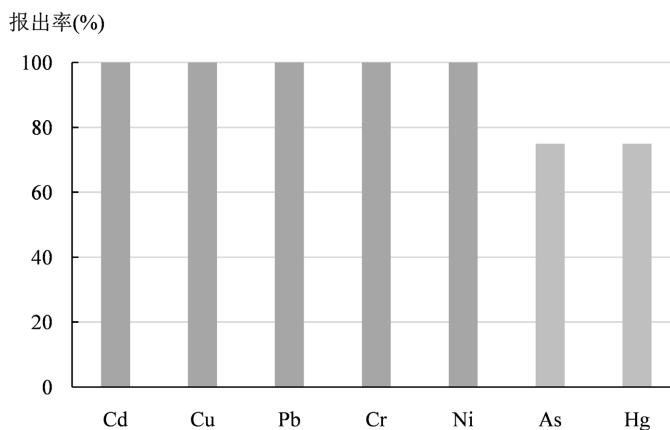


### 3.4. 岩浆热液型金矿

辽宁省岩浆热液型金矿大致可以分两类，一类为重熔岩浆热液型金矿，主要分布于辽南丹东地区，以五龙金矿为代表，产于印支期片麻状黑云母花岗岩中；另一类为同熔岩浆热液型金矿，分布于辽西凌源一带，以柏杖子金矿为代表，矿体产于燕山期花岗斑岩与印支期黑云母闪长岩接触带(闪长岩)中，由上地幔岩浆与下地壳物质同熔形成，成矿物质主要来自地幔[3]。通过对这两处成矿带的8个典型矿床进行统计分析发现，该类矿床周边表层土壤全部报出 Cu、Cd、Pb、Cr、Ni 超标，此外，辽南丹东地区的金矿周边还普遍体现出 Hg、As 超标。综上，岩浆热液型金矿开采矿床周边表层土壤超标重金属组合(各元素报出率)为：Cu (100%) + Cd (100%) + Pb (100%) + Cr (100%) + Ni (100%) + Hg (75%) + As (75%)。如表4和图5。

**Table 4.** List of excessive heavy metal element assemblage in surface soil around magmatic hydrothermal deposits  
**表 4.** 岩浆热液型矿床周边表层土壤重金属超标元素组合一览表

| 矿床(点)序号 | 所处成矿区带 | 超标重金属元素组合            |
|---------|--------|----------------------|
| 1       | 丹东     | Cu、Cd、Pb、Cr、Ni、Hg、As |
| 2       | 丹东     | Cu、Cd、Pb、Cr、Ni、Hg、As |
| 3       | 丹东     | Cu、Cd、Pb、Cr、Ni、Hg、As |
| 4       | 丹东     | Cu、Cd、Pb、Cr、Ni、Hg、As |
| 5       | 丹东     | Cu、Cd、Pb、Cr、Ni、Hg、As |
| 6       | 丹东     | Cu、Cd、Pb、Cr、Ni、Hg、As |
| 7       | 凌源     | Cu、Cd、Pb、Cr、Ni       |
| 8       | 凌源     | Cu、Cd、Pb、Cr、Ni       |



**Figure 5.** Column diagram of reported rate of excessive heavy metal elements in surface soil around magmatic hydrothermal deposits

**图 5.** 岩浆热液型矿床周边表层土壤重金属超标元素报出率柱状图

该类金矿矿石类型一般为含金硫化物石英脉或细脉浸染状含金蚀变岩，矿石矿物主要为黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、辉铋矿、褐铁矿、银金矿等，金主要赋存在黄铁矿中，其次在黄铜矿和方铅矿中[19] [20]。土壤中 Cu、Pb 超标主要由载金矿物黄铜矿和方铅矿引起；黄铁矿和磁黄铁矿均含有一定量的 Ni 和 Cr，尤其磁黄铁矿中 Ni 含量较高，因此引起土壤 Ni、Cr 普遍超标；辽南重熔岩浆

热液型金矿矿石矿物中毒砂含量较多[3]，而辽西同熔岩浆热液型金矿中毒砂含量甚微，因此辽南丹东地区该类矿山周边表层土壤普遍 As 超标，而辽西凌源一带采样点位均未报出 As 超标；此外，无论辽南还是辽西，该类金矿矿石中闪锌矿的含量都很低，因此所有矿山周边表层土壤中均不涉及 Zn 超标，这是该类金矿的显著特点[20] [21]。该类金矿周边土壤超标重金属元素组合与区域化探异常组合套合也较好，辽西地区该类金矿的指示元素为 Cu、Cr、Ni，而辽南地区的为 Hg、As [3]，这一结果与我们统计的超标重金属元素组合特征不谋而合。与其他类型矿山一致，Cd 的普遍超标也主要与选矿等人类活动有关，与矿床成因联系不大。

#### 4. 结论

1) 不同成因类型矿床周边表层土壤中超标重金属元素组合存在明显的特征性和差异性，说明矿山周边表层土壤重金属超标主要是由金矿开采造成的，且与矿床成因类型密切相关；

2) Cr、Cu、Ni、Pb、Zn、As 六种重金属元素与金矿石中载金矿物种类和组成特征对应良好，而 Hg 和 Cd 的超标，可能主要由选矿等人类活动造成，与矿床成因之间的关系不明显；

3) 不同成矿带的相同类型金矿周边表层土壤中超标重金属元素组合也会存在一定差异，这主要由于区域背景值不同或矿区周边其他干扰因素引起；

4) 金矿区周边土壤重金属污染防治应充分考虑矿床成因及区域背景因素，不同成因的矿床应采取不同的防治措施，以求达到更好的防治效果。

#### 基金项目

辽宁省自然资源厅《全省有色资源开采土壤环境质量调查》项目，项目编号：LNZC20190503806。

#### 参考文献

- [1] Akar, T. and Tunali, S. (2005) Biosorption Performance of *Botrytis cinerea*, Fungal by -Products for Removal of Cd(II) and Cu(II) Ions from Aqueous Solutions. *Minerals Engineering*, **18**, 1099-1109. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2005.03.002>
- [2] Demir, T.A., Isikli, B., Urer, S.M., Berber, A., Akar, T., Canbek, M., et al. (2005) Nickel Exposure and It's Effects. *BioMetals*, **18**, 7-13. <https://doi.org/10.1007/s10534-004-1209-9>
- [3] 孙鹏慧, 李博, 乌爱军, 等. 辽宁省金矿资源潜力评价[M]. 北京: 地质出版社, 2018.
- [4] 陈江. 辽宁省大中型金矿床分布格局及找矿思路[J]. 黄金学报, 2000(2): 83-87.
- [5] 杨占兴. 辽宁省金矿成矿作用研究[J]. 辽宁地质, 1997(1): 41-55.
- [6] 王文清, 王长峰. 辽宁省金矿成矿系列划分及特征[J]. 辽宁地质, 2001(1): 21-27.
- [7] 董军. 辽宁排山楼韧性剪切带型金矿床成矿地质特征及成矿条件分析[J]. 现代工业经济和信息化, 2015, 5(5): 46-48.
- [8] 吕多, 黄昊. 辽宁省阜新新民金矿床地质特征[J]. 科技视界, 2016(16): 246+256.
- [9] 骆辉, 郭进京, 初占武. 辽宁北票宝国老金矿地质特征和成矿作用[J]. 前寒武纪研究进展, 2000(3): 153-164.
- [10] 刘军, 李铁, 刚段超. 辽宁猫岭大型金矿床成岩成矿年龄及同位素地球化学特征[J]. 地质通报, 2018, 37(7): 1325-1337.
- [11] 肖鹏. 辽宁卧龙泉地区金厂沟-猫岭金成矿带特征及成因[J]. 化工矿产地质, 2017, 39(2): 72-77+108.
- [12] 曾庆栋, 孙国涛. 辽东青城子矿集区金成矿作用研究进展[C]//第九届全国成矿理论与找矿方法学术讨论会论文摘要集《矿物学报》编辑部会议论文集. 2019: 21-22.
- [13] 王伟, 李德东, 邱金柱, 刘俊利, 杨云鹏, 刘阳, 等. 辽宁白云金矿床成矿地质模型及潜力分析[J]. 矿产勘查. 2020, 11(8): 1592-1602.
- [14] 聂飞. 辽宁二道沟金矿成矿规律研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013.



- [15] 孔庆瑞, 左建. 义县留龙沟金矿含金矿物特征[J]. 华东地质学院学报, 1987(1): 24-30.
- [16] 张福和, 江南. 辽宁省建昌县南部金矿成矿条件及找矿方向[J]. 科协论坛(下半月), 2010(7): 99-101.
- [17] 王和胜. 建昌县大石沟金矿床特征及矿床模式[J]. 辽宁地质, 1998(3): 36-45.
- [18] 代连铎. 辽宁水泉金矿床地质特征及深部找矿远景分析[J]. 黄金, 2015, 36(10): 27-30.
- [19] 李华伟. 辽宁柏杖子金矿区蚀变花岗岩型矿体成因及深部找矿预测[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.
- [20] 王冬丽. 辽宁五龙金矿成因矿物学研究及深部成矿预测[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017.
- [21] 赵亮. 辽宁柏杖子蚀变花岗岩型金矿地质特征及找矿方向[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2019.