

# Release and Migration Characteristics of Heavy Metals in Tailings

Nan Lu<sup>1,2,3,4,5</sup>

<sup>1</sup>Shaanxi Key Laboratory of Land Consolidation, Xi'an Shaanxi

<sup>2</sup>Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

<sup>3</sup>Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, The Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

<sup>4</sup>Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi

<sup>5</sup>Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

Email: 854933189@qq.com

Received: May 14<sup>th</sup>, 2019; accepted: May 29<sup>th</sup>, 2019; published: June 5<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

A large number of tailings are produced in the process of mining and beneficiation and metallurgy. The environmental pollution caused by the random dumping of tailings is becoming more and more serious, which seriously threatens human life and health and the quality of surrounding soil and water environment. The oxidation of sulfides in tailings and leaching of acid solution can lead to the release, migration and morphological change of heavy metals. Untreated leachate and tailings have a great threat to the ecological environment. There are many types of non-ferrous metal mines in China, and the tailings are quite different due to their bulk density, pH, CEC and other properties. It is typical to study the migration of heavy metals in tailings and their impact on the environment according to the types and properties of ores.

## Keywords

Tailings Slag, Heavy Metals, Release, Migration

---

# 尾矿砂重金属元素释放迁移特征

卢楠<sup>1,2,3,4,5</sup>

<sup>1</sup>陕西省土地整治重点实验室, 陕西 西安

<sup>2</sup>陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

<sup>3</sup>自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

<sup>4</sup>陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安

<sup>5</sup>陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

文章引用: 卢楠. 尾矿砂重金属元素释放迁移特征[J]. 环境保护前沿, 2019, 9(3): 286-289.

DOI: 10.12677/aep.2019.93040

Email: 854933189@qq.com

收稿日期: 2019年5月14日; 录用日期: 2019年5月29日; 发布日期: 2019年6月5日

## 摘要

矿山开采及选冶过程产生大量尾矿砂。由尾矿砂的随意堆弃造成的环境污染问题日趋严重, 严重威胁人类生命健康和周边土壤、水环境质量。尾矿砂中所含硫化物的氧化以及酸性溶液的淋溶等均能导致重金属的释放迁移和形态变化, 未经处理的淋滤液和尾矿砂对生态环境安全具有极大的威胁。我国有色金属矿山类型众多, 尾矿砂因堆积密度、pH、CEC等性质差异较大, 根据矿石类型和性质对尾矿砂中重金属的迁移和对环境的影响研究极具典型性。

## 关键词

尾矿砂, 重金属, 迁移, 释放

Copyright © 2019 by author and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 前言

矿山开采及选冶过程中产生的尾矿砂数量/体积巨大, 每年开采的矿山原石达百万吨, 其中 95%以上成为废石和尾矿砂[1]。因经济发展, 我国的矿山开采利用在过去的几十年间达到顶峰, 有超过 8000 家国有和 110,000 个乡镇企业所有权的矿山, 这些矿山尾矿砂的产生量截止 2009 年已经超过 100 亿吨[2]。世界上每年超过 100 亿吨的尾矿排放量[3]。由尾矿砂随意丢弃导致的土壤重金属污染问题已经演变成全球性的问题[4]。因重金属多共生伴生等成矿原因, 多数有色金属矿石含有多种重金属元素, 选冶的目标物通常是含量多或者有较高经济价值的金属, 通过添加药剂和使用技术手段改变重金属的存在形态, 使之成为可溶出可提取状态, 剩余物质成为尾矿废弃。为了增大矿石与药剂的有效接触面积, 达到良好的浸提效果, 目标矿物将被研磨为极细颗粒。因重金属元素往往具有相似的化学性质, 选冶过程在尽可能多溶出目标金属离子的同时, 也增大了其他重金属的溶出量, 导致尾矿中可溶性重金属含量升高[5], 增大潜在的环境生态安全风险。

尾矿砂往往露天存放于尾矿库中或者直接被随意堆放, 侵占了大量的土地资源。降雨等原因形成的表面径流不断冲刷, 淋滤, 促进了尾矿砂中含有的重金属等污染物的释放。未经处理的淋滤液和固形物会对地下水体和土壤系统造成严重伤害。

## 2. 尾矿砂中重金属迁移的原因

尾矿砂中所含硫化物矿物的风化、氧化是导致重金属发生释放迁移的主要原因。硫化物矿物, 特别是含铁硫化物的氧化作用是引起矿山酸性排水的主要原因。Jennings 等[6]用  $H_2O_2$  处理了 13 种普通硫化物和硫酸盐矿物, 结果表明随着硫化物的氧化, 氢离子、铁离子、硫酸根离子均有一定程度的释放, 与此同时, 氧化的酸性溶液又进一步加速了其他金属和造岩矿物的溶解, 导致更多元素的释放迁移。因而,

尾矿砂中的矿物形态、结构、化学反应机理和矿物转化过程，决定了尾矿砂中有毒元素的潜在生态危害及其环境效应。重金属离子通过沉淀作用、吸附作用或离子交换等方式进入次生矿物中或以离子形态进入水体。

随着尾矿砂中固态物质及其水文环境化学性质的不同，重金属的迁移过程不断发生变化，甚至导致同种重金属的迁移特点随反应时间和空间的变化而变化。尾矿砂中的重金属元素的迁移过程具有复杂性，其所引起的环境效应也十分复杂。

### 3. 尾矿砂中重金属迁移的危害

尾矿砂中的重金属元素赋存状态，直接关系到它们的淋溶速率和在环境中的迁移及其生物可利用性[7]。重金属能以一定的形态与土壤中的物质相结合，而赋存形态不但直接决定重金属的迁移能力[8][9]，而且对重金属的累积能力和生物毒性都有直接影响[10]。不同形态重金属的活性和对环境的影响不同，不能仅仅用重金属总量来评估其对环境的影响[11]。

Xiao 等[12]通过评估采金过程对土壤中重金属污染和人类的健康风险发现，尾矿砂中重金属的释放是导致区域土壤重金属污染的主要原因。贺金刚等[13]通过对黄铁矿氧化对尾矿库的影响调查得到，黄铁矿氧化产物对尾矿的影响主要在浅层，表层的重金属离子出现迁移和流失。李晓艳和吴超[14]通过调查了解矿区土壤重金属的形态和研究淋溶液 pH 对重金属的迁移影响发现，淋溶液的酸度显著促进了几种重金属的溶出，重金属的迁移能力有所差异，其中，Cd 的迁移能力最强，Hg 的迁移能力最弱，受酸性影响最大的重金属元素是 Cu。邱征等[15]研究了富含硫化物尾矿的酸化和浅层剖面重金属的分布和形态特征，发现随着剖面深度的增大，酸性逐渐增强且影响重金属在剖面的分布特征。

酸雨也是影响土壤重金属的迁移的重要因素[16]，邹文佳等[17]对铜矿尾矿库中重金属的释放规律调查研究发现，酸性降雨明显促进重金属的释放，浸出液对地下水环境构成威胁。秦燕等[18]的实验则表明采矿废石中重金属淋滤强度随模拟酸度的增加而逐渐增强，而淋滤出的重金属浓度并不总是随时间的延长而递减。方月梅等[19]对工业园区农用土体中重金属 Cu 和 Pb 的形态研究发现，土体 pH 值与 Pb 弱酸提取态含量、Cu 可还原态含量之间相关性显著。

聂义宁等[20]对铁尾矿各粒级与重金属形态含量的关系发现，不同粒径对重金属形态分布影响较大，Pb 在粒径  $> 250 \mu\text{m}$  的组分中含量较高，而相同的粒径组分中 Cd 含量最低。高峰等[21]的研究结果表明尾矿库的重金属迁移机理主要是土壤的吸附和雨水的淋滤作用。陈璐等[22]以铅锌尾矿为研究对象，对重金属毒浸特征和形态进行分析，结果显示下层尾矿 Pb、Cd 浸出含量均高于表层且与其弱酸提取态具有极显著正相关关系。

### 4. 总结

综上所述，尾矿砂具有伴生矿种复杂、反应多样化和重金属元素易迁移的特点。尾矿砂中水溶态和颗粒态重金属因淋溶发生迁移，淋溶液的性质对重金属淋溶迁移形态也有很大影响。此外，我国地域辽阔，自然条件多样，有色金属矿山类型众多，尾矿砂因其堆积密度、pH、CEC 等性质差异较大，根据矿石类型和性质对尾矿砂中重金属的迁移和对环境的影响研究将极具典型性。

### 基金项目

陕西省土地整治重点实验室开放基金资助(2019-JC04)。

### 参考文献

- [1] Falagán, C., Grail, B.M. and Johnson, D.B. (2017) New Approaches for Extracting and Recovering Metals from Mine

- Tailings. *Minerals Engineering*, **106**, 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.10.008>
- [2] Pan, H., Zhou, G., Cheng, Z., *et al.* (2014) Advances in Geochemical Survey of Mine Tailings Project in China. *Journal of Geochemical Exploration*, **139**, 193-200. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.07.012>
- [3] Adiansyah, J.S., Rosano, M., Vink, S., *et al.* (2015) A Framework for a Sustainable Approach to Mine Tailings Management: Disposal Strategies. *Journal of Cleaner Production*, **108**, 1050-1062. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.139>
- [4] 李倩, 秦飞, 季宏兵, 等. 北京市密云水库上游金矿区土壤重金属含量、来源及污染评价[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(12): 2384-2394.
- [5] 林海, 于明利, 董颖博, 等. 不同粒度锡采矿废石重金属淋溶规律及影响机制[J]. 中国环境科学, 2014, 34(3): 664-671.
- [6] Jennings, S.R., Dollhopf, D.J. and Inskip, W.P. (2000) Acid Production from Sulfide Minerals Using Hydrogen Peroxide Weathering. *Applied Geochemistry*, **15**, 235-243. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(99\)00041-4](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(99)00041-4)
- [7] Tessier, A., Campbell, P.G.C. and Bisson, M. (1979) Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals. *Analytical Chemistry*, **51**, 844-851. <https://doi.org/10.1021/ac50043a017>
- [8] 雷鸣, 廖柏寒, 秦普丰. 土体重金属化学形态的生物可利用性评价[J]. 生态环境, 2007, 16(5): 1551-1556.
- [9] 易秀, 杨胜科, 胡安焱. 土体化学与环境[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [10] Rauret, G. (1998) Extraction Procedures for the Determination of Heavy Metals in Contaminated Soil and Sediment. *Talanta*, **46**, 449. [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(97\)00406-2](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(97)00406-2)
- [11] 张鑫. 安徽铜陵矿区重金属元素释放迁移地球化学特征及其环境效应研究[D]: [博士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2005.
- [12] Xiao, R., Wang, S., Li, R., *et al.* (2017) Soil Heavy Metal Contamination and Health Risks Associated with Artisanal Gold Mining in Tongguan, Shaanxi, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **141**, 17-24. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.03.002>
- [13] 贺金刚, 张亚先, 于菲. 黄铁矿氧化对尾矿库的影响初探[J]. 中国钨业, 2015, 30(6): 28-33.
- [14] 李晓艳, 吴超. 湖南某铅锌矿土壤重金属形态分析及淋溶液 pH 值对其淋滤的影响[J]. 环境工程, 2017, 35(5): 172-176.
- [15] 邱征, 郑刘根, 夏毅民. 安徽铜陵水木冲尾矿重金属赋存状态及污染特征研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2018, 37(6): 127-135.
- [16] 徐明岗, 李菊梅, 张青. pH 对黄棕壤重金属解吸特征的影响[J]. 生态环境, 2004, 13(3): 312-315.
- [17] 邹文佳, 张淇翔, 石林, 等. 江西某铜矿排土场与尾矿库重金属释放规律及其对地下水的污染风险[J]. 有色金属工程, 2016, 6(1): 90-94.
- [18] 秦燕, 徐晓春, 谢巧勤, 等. 铜矿采矿废石重金属环境污染的淋溶实验研究[J]. 地球学报, 2008, 29(2): 247-252.
- [19] 方月梅, 张晓玲, 刘娟, 何明礼. 工业园区农用土体中重金属 Cu 和 Pb 的形态研究[J]. 湖北理工学院学报, 2018, 34(2): 14-18.
- [20] 聂义宁, 张爱星, 高阳, 等. 密云水库上游铁尾矿各粒级组分重金属研究[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(8): 87-93.
- [21] 高峰, 周科平, 何川, 等. 大脚岭铅锌尾矿库重金属迁移规律与污染评价[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2015(5): 1953-1958.
- [22] 陈璐, 文方, 程艳, 等. 铅锌尾矿中重金属形态分布与毒性浸出特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(3): 89-94.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2164-5485，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[aep@hanspub.org](mailto:aep@hanspub.org)