

# 淋溶过程中重金属的风化淋滤特征\*

吴鹏盛<sup>1)</sup>, 施泽明<sup>1,2)</sup>, 石建凡<sup>1)</sup>

1) 成都理工大学, 成都, 610059; 2) 地学核技术四川省重点实验室, 成都, 610059

## 1 影响重金属淋滤的因素

### 1.1 矿物组成和矿物物理化学性质

尾矿酸中和潜力取决于尾矿矿物组成和矿物物理化学性质, 是否产生酸性排水以及重金属迁移主要受尾矿酸中和潜力制约。有专家认为矿山废弃物酸中和潜力是预测其产生酸性排水特征的重要参数(冯颖思等, 2013)。计算矿山固体废弃物酸中和潜力的方法尚不完善。

### 1.2 碳酸盐矿物含量

据 Holmstrom 等研究结果表明, 在不含或含碳酸盐矿物很少的尾矿中, 产生含有高浓度重金属淋滤液的潜力是巨大的, 风化速率随时间增加, 这是低 pH 值淋滤液与硫化物作用的结果。在这种类型的尾矿中淋滤液的 pH 值 $<4$ 。因此, 重金属在溶液中处于溶解状态, 有很大的迁移活性(王俊桃等, 2006)。他们认为尾矿是否有酸性水排出和重金属释放主要取决于碳酸盐矿物的含量, 而不是硫化物的含量。

### 1.3 铁氢氧化物

铁沉淀物对微量元素迁移和滞留起重要作用(陈天虎等, 2001)。EMPA 结果显示, Cu、Ni、Zn 等元素通过共生沉淀和吸附隐藏在铁沉淀物中, 这种作用的结果, 一方面使尾矿中风化淋滤的重金属滞留, 阻止了重金属的迁移和对环境的释放, 可以防止环境污染。但是如果尾矿中酸中和活性矿物耗尽, 尾矿中的矿物不能有效缓冲空隙水的 pH 值, 导致空隙水具有很低的 pH 值, 铁氢氧化物溶解上述元素重新释放进入空隙水。在此情况下, 这些铁氢氧化物构成了潜在的渗流污染源。

### 1.4 尾矿颗粒组成

尾矿颗粒组成影响水的渗透系数。颗粒组成越粗, 尾矿中水的渗透系数越大, 水和矿物反应越强

烈, 硫化物氧化反应越快。氧化产生的酸性水和重金属越容易淋滤渗出, 对环境的危害越大。

### 1.5 淋滤液的 pH 值

为了防止尾矿重金属淋滤进入周围环境, 使尾矿始终保持中性或接近中性的 pH 值是非常重要的。在尾矿中保持高 pH 值有两方面的作用: 一方面是高 pH 值下重金属溶解度大大降低, 能有效防止重金属的淋出; 另一方面, 高 pH 值下氢氧化物的形成使硫化物氧化速率随时间而降低(宋党育等, 2005)。

### 1.6 生物作用

尾矿中存在生物作用, 有些生物如铁硫杆菌存在可以加速硫化物氧化(刘云国等, 2001)。有些微生物以有机物为营养源, 消耗尾矿中的溶解氧, 使尾矿中硫化物处于稳定的还原环境。有机质的存在对硫化物氧化起到缓冲作用, 可以阻止硫化物的氧化, 特别是氧化反应活性较高的有机物对控制尾矿中硫化物氧化淋滤和重金属污染起重要作用。

## 2 不同淋溶物质的重金属淋滤特征

### 2.1 铅锌矿床

铅锌矿床是镉元素富集最常见的矿床之一, 李航等对金顶铅锌矿区淋滤试验表明: 随着淋滤时间的延长, 滤液中 CI 浓度随时间呈显著增大趋势(R.W.Lawrence, 1997)。溶解态镉和其它主要元素铅、锌、铜和锰质量浓度变化随时间呈降低趋势。铅锌氧化矿石易淋出而释放出镉等有害元素, 滤出元素可以迅速发生沉淀或被沉淀物包裹, 其能力表现为  $Zn > Pb > Cd$ 。两个不同矿石, 镉的淋失量有所差别, 矿石中菱锌矿质量分数是影响镉淋失的主要因素(李航等, 2007)。矿区富镉岩石和矿物的自然风化对矿区流域水生态环境造成潜在危害。

收稿日期: 2015-02-03; 改回日期: 2015-03-01; 责任编辑: 周健。

作者简介: 吴鹏盛, 男, 1992 年生, 硕士, 地球化学专业。Email: 790128655@qq.com。

## 2.2 铜矿床的采矿废石

对凤凰山铜矿田药园山矿床的采矿废石进行动态淋滤实验,考查了重金属从采矿废石中淋出的浓度与淋溶液的 pH 值以及淋滤时间的关系,结果表明,采矿废石中重金属淋滤强度随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。对采矿废石样品进行重金属含量分析发现,重金属元素的含量普遍高于土壤中这些元素的平均值(秦燕<sup>①</sup>)。从总量角度来看,废石中重金属含量较高,肯定会对周围生态环境产生影响(饶运章, 2003)。废石中重金属的淋出并不都是随时间的延长而递减的,而是呈现一个先增加再减少的趋势。

## 2.3 粉煤灰

粉煤灰的淋溶液中重金属 Pb 的含量变化规律为先变小后变大,然后趋于平衡,有的曲线呈现先变小后变大再变小的趋势。原因在于淋滤初期,淋滤介质中的微量重金属被粉煤灰吸附,随着淋滤的进行,大量重金属被淋出,经过一定的时间,淋出速率与吸附速率达到平衡,淋出量趋于稳定(刘开红等, 2006)。淋出液中元素变化趋势的差异可能与元素的性质和赋存状态有关。由于酸性溶液酸性弱,淋溶碱性较强的固体,淋溶水下渗过程中,被中和并逐步转为微碱性,因此与中性溶液淋溶无大的差异。

## 2.4 铀矿尾矿

对铀矿尾矿进行模拟淋滤实验,结果表明:在模拟酸雨的淋滤作用下,滤液中铀浓度高于地表水铀含量标准值,但随着淋滤周期的加长,滤液中铀浓度总体呈下降趋势;淋出液中铀浓度与加入的模拟酸雨量呈一定的负相关;在延长淋滤间隔时间时,尾矿析出铀的能力有一定恢复(林嗣荣等, 1996)。露天堆放铀尾矿会造成大量铀流失以及影响周围环境。

## 2.5 钼尾砂

对钼尾砂进行淋滤浸出,其特征是:雨水 pH 值和温度对钼的淋滤浸出影响显著,降雨量的影响不大;较低 pH 值的降雨,更利于钼的溶出;温度升高能在一定程度上促进钼的迁移释放;钼尾砂初始淋滤浸出液的 pH 值与雨水的 pH 值具备正相

关性;随后 pH 值多在 7.2~7.8 之间(孟多<sup>②</sup>),变化幅度不大,呈弱碱性;淋滤浸出液电导率的变化大致呈逐渐减小的变化趋势。

## 2.6 土壤

土壤样品中重金属离子淋出量显著小于尾矿中重金属离子淋出量;土壤和尾矿样品的淋滤规律基本相同,重金属离子实验初始溶出速率较快,随着时间的延长,溶出量逐渐下降,在 100h 左右时达到稳定;从淋滤曲线得出重金属元素的淋失顺序为: Fe>Cu>Zn>Tl>Pb>Cd(姜艳兴等, 2013)。

### 注 释 / Notes

①秦燕, 2007. 采矿废石中重金属元素在表生条件下的淋滤迁移. 导师: 徐晓春. 合肥工业大学硕士学位论文, 5-43.

②孟多, 2007. 钼尾砂淋滤浸出特征及释放量评价. 导师: 赵明鹏. 辽宁工学院硕士学位论文, 4-56.

### 参 考 文 献 / References

- 陈天虎, 冯军会. 2001. 国外尾矿酸性排水和重金属淋滤作用研究进展. 环境污染治理技术与设备, 2(2): 04.
- 冯颖思, 宋刚. 2013. 模拟降雨对铀尾矿的淋滤试验研究. 中国环境科学学会学术年会论文集, (2013): 3202~3204.
- 姜艳兴, 李德先. 2013. 粤北大宝山矿区土壤和尾矿中重金属的淋滤释放危害分析. 生态学杂志, 32(4): 1038~1044.
- 李航, 双燕, 朱长生, 李大华. 2007. 金顶铅锌矿区铅锌氧化矿石中镉的风化淋滤实验. 生态环境, 16(4): 1121~1124.
- 林嗣荣, 高锡珍, 郭尔华, 陆诗洁. 1996. 某高品位铀矿石淋滤浸出研究. 铀矿冶, 11(1): 05.
- 刘开红, 王辉, 朱乾德. 2006. 煤矸石与粉煤灰淋溶渗出液对水环境影响研究. 环境科学与管理, (4): 62~64.
- 刘云国, 肖鑫, 李欣, 田大伦. 2001. 土著微生物对尾矿中重金属的淋滤作用. 湖南大学学报(自然科学版), 2(1): 01~03.
- 饶运章, 侯运炳, 潘建平, 肖广哲, 徐水太. 2003. 某铜铁矿尾矿废水神经网络预测研究. 金属矿山, (11): 23~25.
- 宋党育, 秦勇, 张军营. 2005. 煤及其燃烧产物中有害痕量元素的淋滤特性研究. 环境科学学报, 25(9): 1195~1201.
- 王俊桃, 谢娟, 张益谦. 2006. 矿山废石淋溶对水环境的影响. 地球科学与环境学报, (4): 04~06.
- Lawrence R W, Michael Scheske. 1997. A method to calculated the neutralization potential of mining wastes. Environmental Geology, 32(2): 100~113.