

## 有色金属矿山选矿废水处理技术及生产应用

魏芳<sup>1,2</sup>

1. 中钢集团马鞍山矿山研究总院股份有限公司, 安徽 马鞍山 243000
2. 金属矿山安全与健康国家重点实验室, 安徽 马鞍山 243000

**[摘要]**随着工业化进程的加速和环境保护意识的提高,对废水排放标准和处理技术的要求也越来越严格。矿山废水不仅含有大量的有机物和重金属离子等污染物,而且其复杂的成分和高浓度的污染物使得处理工作更加具有挑战性。文中探讨有色金属矿山废水的来源、成分及其对环境的影响,介绍各种处理方法以及废水回用的方式,以期为解决有色金属矿山废水处理及资源回用问题提供参考和启示。

**[关键词]**有色金属; 矿山废水; 净化处理; 生产应用

DOI: 10.33142/ec.v7i8.12955

中图分类号: X753

文献标识码: A

## Treatment Technology and Production Application of Mineral Processing Wastewater in Nonferrous Metal Mines

WEI Fan<sup>1,2</sup>

1. Sinosteel Maanshan General Institute of Mining Research Co., Ltd., Maanshan, Anhui, 243000, China
2. State Key Laboratory of Safety and Health in Metal Mines, Maanshan, Anhui, 243000, China

**Abstract:** With the acceleration of industrialization and the improvement of environmental protection awareness, the requirements for wastewater discharge standards and treatment technologies are becoming increasingly strict. Mining wastewater not only contains a large amount of pollutants such as organic matter and heavy metal ions, but also its complex composition and high concentration of pollutants make the treatment work more challenging. This article explores the sources, components, and their impact on the environment of non-ferrous metal mining wastewater, introduces various treatment methods and ways of wastewater reuse, in order to provide reference and inspiration for solving the problems of non-ferrous metal mining wastewater treatment and resource reuse.

**Keywords:** nonferrous metals; mining wastewater; purification treatment; production applications

### 引言

有色金属矿山作为重要的工业领域,在生产过程中会产生大量的废水,废水含有多种有机物、重金属离子以及固体悬浮物,具有复杂的成分和高浓度的污染物。长期以来,由于工艺技术和水平管理的不足,矿山废水排放对周围环境造成了一定程度的污染,给生态环境和人类健康带来了潜在的风险。随着环境保护意识的提高和相关法律法规的出台,有色金属矿山对废水的排放标准和处理要求也日益严格。因此,研究和开发高效、环保的矿山废水处理技术,提高废水资源的循环利用率,成为当前矿山生产过程中亟待解决的重要问题。

### 1 有色金属矿山选矿废水的来源

有色金属矿山废水是指在有色金属矿山开采及选矿过程中所产生的含有各种废弃物和污染物的水体。其主要来源可以分为两个方面:一是来自矿石的冲洗。在选矿过程中,矿石经过破碎、磨矿、浮选等环节,需要进行多次冲洗,以去除表面的泥土和杂质,使金属矿物暴露出来。这个过程会消耗大量的水资源,并且将带有矿石碎片、粉末、矿浆等固体颗粒和有机物的废水排放到环境中。二是

选矿药剂的使用。为了提高选矿的效率和提取率,选厂常常添加各种选矿药剂,如氰化物、硫化剂、络合剂等,以促进矿石的浮选、脱泥等工艺过程。然而,这些药剂在矿石处理过程中不完全被利用,部分残留在废水中,成为污染源。同时,废水中还含有金属离子、有机物和固体悬浮物等,这些物质的存在使得废水的处理和净化变得更加复杂和困难。

### 2 有色金属矿山选矿废水的成分组成及对选矿的影响

#### 2.1 残留选矿药剂的影响

残留选矿药剂是有色金属矿山选矿废水中的重要成分之一,其对选矿过程和环境造成多方面的影响。在选矿过程中,药剂的添加往往是为了促进矿石的浮选、脱泥等工艺,但如果药剂残留过多或者不能被完全吸附或分解,就会影响到选矿工艺的正常进行,降低选矿效率,增加生产成本。一些选矿药剂具有毒性或致癌性,如氰化物、重金属络合剂等,如果这些药剂残留在废水中未经处理直接排放到水体中,就会对水生生物产生毒性影响,破坏水体生态系统的平衡,甚至危及人类健康<sup>[1]</sup>。残留选矿药剂还

可能导致废水的生化需氧量 (BOD) 和化学需氧量 (COD) 增加, 使得废水难以降解和处理, 不仅会加重废水处理的难度和成本, 还可能导致处理后的水质无法达标排放, 加剧环境污染问题。

## 2.2 金属离子的影响

金属离子是有色金属矿山选矿废水中的重要成分, 其存在对选矿过程和环境产生广泛而深远的影响。在矿石处理过程中, 金属矿物经过浮选、脱泥等工艺后, 会释放出大量的金属离子, 如铜离子、锌离子、铁离子等, 导致废水的 pH 值发生变化, 影响水体的酸碱度, 甚至使其呈现酸性或碱性, 影响到废水的稳定性和后续处理过程。一些金属离子具有毒性, 如铅、镉、汞等重金属离子, 如果这些离子过量释放到水体中, 就会对水生生物产生毒性影响, 破坏水体生态系统的平衡, 影响水生生物的生存和繁衍, 甚至危及人类健康。一些金属离子具有较高的化学稳定性, 难以被传统的废水处理方法完全去除, 如沉淀法、离子交换法等。因此, 需要采用更加复杂和昂贵的废水处理技术, 如高级氧化、膜分离等, 来彻底去除金属离子, 增加了废水处理的难度和成本。

## 2.3 固体悬浮物的影响

固体悬浮物是有色金属矿山选矿废水中常见的成分, 其存在对选矿过程和环境产生着多方面的影响。固体悬浮物的存在会降低废水的透明度和清洁度, 使水体变得浑浊不清, 不仅影响到水体的美观, 也会影响到水生生物的生存环境, 阻碍光线透过水体, 影响水中植物的光合作用, 降低水生生物的生长速度和繁殖能力。大量的固体悬浮物会沉积在水底, 形成淤泥, 改变水底的地形和结构, 影响底栖生物的生存环境, 导致水生生物栖息地的破坏和丧失。在废水处理过程中, 固体悬浮物容易沉积在管道、泵站等设备上, 形成污垢和结垢, 降低设备的运行效率, 增加设备的维护和清洁成本<sup>[2]</sup>。同时, 固体悬浮物还可能对废水处理设施的过滤和分离效果产生负面影响, 降低废水处理的效率和彻底度。

# 3 有色金属矿山选矿废水的处理方法

## 3.1 沉淀法

沉淀法是一种常见的有色金属矿山选矿废水处理方法, 其原理是利用添加适当的沉淀剂, 使废水中的悬浮物和溶解物沉淀下来, 从而达到净化废水的目的。在沉淀法中, 常用的沉淀剂包括氢氧化钙、氧化铁等。沉淀法的工作原理是通过与废水中的污染物发生化学反应, 形成沉淀物而将其从水中分离出来。例如, 当废水中存在着铜离子、锌离子等金属离子时, 可以通过添加氢氧化钙等沉淀剂, 与金属离子发生沉淀反应, 生成相应的金属氢氧化物沉淀, 从而将金属离子从水中去除。一般来说, 废水经过初步处理后, 通过加入适量的沉淀剂, 将废水中的悬浮物和溶解物与沉淀剂发生反应, 形成沉淀物。随后, 经过一定时间

的静置或者搅拌沉淀后, 可以通过过滤、离心等方法将沉淀物与清水分离, 从而实现废水的净化和处理。无论是含有重金属离子、有机物还是其他污染物的废水, 沉淀法都具有较好的处理效果, 可以有效地将废水中的污染物去除, 提高水质。

## 3.2 离子交换法

离子交换法是利用离子交换树脂将废水中的金属离子吸附交换, 从而去除废水中的有害金属离子。在离子交换法中, 通常使用的是特制的离子交换树脂, 其表面具有一定的功能基团, 能够选择性地吸附和释放特定的金属离子。当废水通过离子交换树脂床时, 金属离子会被吸附到树脂表面上, 同时, 树脂上的其他离子会被释放出来。离子交换法的操作相对简单, 一般包括固定床和流动床两种方式。在固定床系统中, 离子交换树脂被填充在固定的容器中, 废水通过树脂床时进行离子交换; 而在流动床系统中, 离子交换树脂被置于流动床上, 废水通过床体时进行离子交换。无论是哪种方式, 离子交换法都能够有效去除废水中的金属离子。由于离子交换树脂的高选择性和大表面积, 能够快速而有效地吸附废水中的金属离子, 使废水经过处理后达到排放标准。

## 3.3 电解法

电解法是有色金属矿山选矿废水处理的一种重要方法, 其原理是利用电解原理将废水中的金属离子还原成金属或沉淀, 从而实现废水的净化。在电解法中, 废水经过预处理后, 进入电解槽中, 电解槽内装有一对电极, 通常为铁板或铁丝。当通入电流时, 正极产生氧气, 负极产生氢气, 同时废水中的金属离子被还原成金属沉淀沉积在负极上, 或者与负极发生反应生成沉淀物。这样, 废水中的金属离子得以被有效去除, 从而达到净化废水的目的。由于金属离子在电流作用下可以迅速还原成金属沉淀, 使废水经过处理后能够达到排放标准。此外, 电解法还具有良好的适应性, 适用于处理不同类型的废水, 如含有重金属离子、有机物等的废水。

## 3.4 生物处理法

生物处理法是有色金属矿山选矿废水处理的一种重要方法, 其原理是利用微生物对废水中的有机物进行降解和分解, 将有机物转化为无害的物质, 从而实现废水的净化。在生物处理法中, 废水首先经过初步的预处理, 去除大部分的悬浮物和固体颗粒, 然后进入生物反应器中进行生物处理。生物反应器通常采用生物滤池、活性污泥法等, 这些反应器内部生长着各种微生物, 如细菌、真菌、藻类等。这些微生物能够利用废水中的有机物作为碳源进行生长繁殖, 同时释放出酶和其他代谢产物, 将有机物降解为二氧化碳和水等无害物质。相比于化学方法, 生物处理法不需要添加大量化学药剂, 不会产生二次污染, 对环境影响较小。此外, 生物处理法还具有操作简便、成本低廉的

特点,适用于处理废水中有机物较多的情况。

### 3.5 膜分离技术

膜分离技术是有色金属矿山选矿废水处理的一种先进方法,其原理是利用特制的膜对废水中的悬浮物、溶解物进行分离和过滤,从而实现废水的净化。在膜分离技术中,常用的膜包括微滤膜、超滤膜、纳滤膜和反渗透膜等。这些膜具有不同的孔径和分离效果,能够根据废水的特性选择合适的膜进行处理。当废水通过膜分离装置时,其中的悬浮物、溶解物被膜表面截留,而水分则通过膜孔径向另一侧传递,最终得到净化的水。由于膜的微孔结构能够有效地截留废水中的污染物,使得废水经过处理后得以达到排放标准。同时,膜分离技术操作简单,不需要大量化学药剂,不会产生二次污染,对环境影响较小。膜分离技术还具有较好的适应性,适用于处理各种类型的废水,如含有悬浮物、重金属离子、有机物等的废水。同时,膜分离技术的设备结构紧凑,占地面积小,适用于各种规模的废水处理工程。

### 3.6 氧化还原法

氧化还原法是有色金属矿山选矿废水处理的一种重要方法,其原理是利用氧化剂将废水中的有机物氧化分解,将有机物转化为无害的物质,或将金属离子还原成金属或沉淀,从而实现废水的净化。在氧化还原法中,括氯、臭氧、过氧化氢等与废水中的有机物或金属离子接触时,会发生氧化还原反应,使有机物氧化为二氧化碳和水等无害物质,或者将金属离子还原成金属沉淀。由于氧化剂对废水中的有机物和金属离子具有较强的氧化能力,使得废水经过处理后能够达到排放标准。此外,氧化还原法还具有较好的适应性,适用于处理各种类型的废水,如含有有机物、重金属离子等的废水。

### 3.7 吸附法

吸附法是有色金属矿山选矿废水处理的一种有效方法,其原理是利用吸附剂对废水中的污染物进行吸附,从而实现废水的净化。在吸附法中,活性炭、硅胶、树脂等具有大的比表面积和丰富的微孔结构,能够有效地吸附废水中的污染物。当废水通过吸附剂床层时,其中的污染物被吸附到吸附剂表面上,从而实现了废水的净化。由于吸附剂具有大的比表面积和丰富的微孔结构,能够迅速而有效地吸附废水中的污染物,使废水经过处理后达到排放标准。同时,吸附法还具有操作简便、成本较低的特点,适用于处理不同类型的废水。

### 3.8 超声波处理法

超声波处理法是有色金属矿山选矿废水处理的一种先进技术,其原理是利用超声波的机械作用和化学作用对废水中的污染物进行分散、溶解和催化降解,从而实现废水的净化。在超声波处理法中,废水通过超声波处理装置时,受到来自声波的强烈振动和剧烈湍流的作用,

使得废水中的污染物分散、溶解和催化降解。超声波的机械作用可以破碎污染物的分子结构,增加其表面积,从而提高化学反应速率;同时,超声波还能够产生局部高温和高压的效应,促进废水中的化学反应,加速污染物的降解过程<sup>[3]</sup>。由于超声波具有强大的机械作用和化学作用,能够快速而有效地去除废水中的污染物,使废水经过处理后达到排放标准。此外,超声波处理法还具有操作简便、无须添加化学药剂、无二次污染等优点,对环境友好。

## 4 有色金属矿山选矿废水处理生产回用

### 4.1 选矿废水源头分质回用

选矿废水源头分质回用通过对产生的废水进行初步处理和分类,根据废水的成分特点将其分为不同品质的水源,并将这些水源再次利用于生产过程中,以实现资源的有效利用和节约。对于含有较少有机物和重金属离子的废水,可以直接作为清洁水或冷却水使用;而对于含有较高浓度有机物或金属离子的废水,则需要进一步处理。对于清洁水或冷却水,可以直接输送至生产线进行循环使用,从而减少对新鲜水的需求量;对于含有有机物或金属离子的废水,可以进行进一步提炼和回收有价值的物质,例如通过生物处理法、离子交换法等将废水中的有机物和重金属离子去除,以实现资源的最大化利用。

### 4.2 尾矿库溢流水回用

在矿山生产过程中,尾矿库溢流水是常见的废水类型,其含有一定的固体颗粒和金属离子。通过合理的处理和净化,尾矿库溢流水可以再次用于生产过程中,以实现废水资源的再次利用和环境保护。尾矿库溢流水经过初步的处理和净化,去除大部分的固体颗粒和悬浮物。接下来,对溢流水进行进一步处理,例如通过沉淀、过滤等工艺,去除废水中的金属离子和有机物等污染物,提高水质。可以将净化后的溢流水用于浸泡矿石、输送矿石或者作为冲洗废料的介质等生产环节,从而降低生产过程中对新鲜水资源的需求,实现水资源的节约和循环利用。尾矿库溢流水回用的好处不仅在于节约水资源,通过将处理后的溢流水再次用于生产过程中,可以减少废水排放量,降低对周边水体和土壤的污染风险,保护生态环境。

### 4.3 选矿废水末端处理回用

选矿废水经过常规处理后,残余的有机物和重金属离子等污染物需要经过更深度的处理。针对不同的污染物,可以采用不同的处理方法,如生物处理法、氧化还原法、膜分离技术等,对废水进行进一步的净化和提纯。经过末端处理后的废水质量符合生产水质要求,可以将净化后的废水用于浸泡矿石、输送矿石或者作为冲洗废料的介质等生产环节,从而降低生产过程中对新鲜水资源的需求,实现水资源的节约和循环利用。选矿废水末端处理回用的好处在于提高了废水的综合利用效率,将残余

的污染物进一步净化和回收,实现了资源的最大化利用。同时,通过再次回用处理后的废水,不仅可以降低生产成本,还可以减少废水排放对环境的影响,达到了资源节约和环境保护的双重目的。

### 5 结束语

有色金属矿山选矿废水处理技术及其生产应用是矿业领域中至关重要的议题。探讨废水的来源、成分及影响,并介绍了各种处理方法,如沉淀法、离子交换法、生物处理法等。同时,还探讨废水回用的各种方式,包括源头分质回用、尾矿库溢流水回用和末端处理回用,进一步探索创新的技术和方法,不断提高废水处理和资源回用的效率和水平,为实现资源节约型、环境友好型社会发展做出更大的贡献。

### [参考文献]

- [1]赵军生,魏总.有色金属选矿废水处理及循环利用技术研究[J].世界有色金属,2024(1):103-105.
  - [2]黄宜卷.国外某选矿厂废水处理水质与气体挥发规律研究[J].现代矿业,2023,39(12):204-206.
  - [3]张磊,祝思频,张青青,等.微波活化过硫酸盐降解典型选矿药剂水杨羟肟酸[J].环境化学,2022,41(10):3414-3424.
  - [4]赵瑾,胡琳,任蛟.有色金属矿山选矿废水处理技术及生产应用[J].世界有色金属,2020(14):2.
- 作者简介:魏芳(1986.6—),女,河南省林州市,汉族,硕士研究生,高级市政工程师,就职于中钢集团马鞍山矿山研究总院股份有限公司,从事给水排水设计工作。