

铅锌选矿废水净化处理研究概述

赵连兵, 先永骏, 文书明, 梁观玉, 洪杨, 陈章鸿

(昆明理工大学 国土资源工程学院, 省部共建复杂有色金属资源清洁
利用国家重点实验室, 云南 昆明 650093)

摘要: 重金属离子和残留浮选药剂是铅锌选矿废水的重要组成部分, 未经处理的废水直接外排会污染环境, 直接回用则影响选矿指标。不同的铅锌废水含有的重金属离子及选矿药剂的种类和量各不相同, 需针对不同废水的性质及用途, 采取针对性的废水处理办法对铅锌选矿废水加以处理, 方可回用或外排, 是环境保护、节约水资源的绿色矿厂的必然要求; 本文主要介绍了铅锌废水的基本性质、来源、危害以及处理方法, 对后期铅锌废水处理和发展具有一定的借鉴和促进作用。

关键词: 铅锌废水; 危害; 处理方法

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2022.03.018

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2022)03-0100-07

我国属于缺水型国家, 可用淡水资源总量 3 万亿 m^3 , 人均占有量却不足 220 m^3 , 在世界上的排名在 100 位以后^[1]。我国作为废水产生量最多的国家之一, 其中矿业作为许多行业的重要前端基础, 是我国废水的最大输出源之一, 这部分废水只有不到 30% 的经处理回用, 水体污染问题日趋严峻^[2]。我国每年生产应用铅锌矿石产生的废水量约 4 亿 t ^[3], 占我国工业废水的十分之一, 占有有色金属工业废水的 30% 左右。

我国铅锌资源丰富^[4], 截至 2018 年底, 全国铅产量为 444.6 万 t 、锌产量为 517.2 万 t , 且这些铅锌矿大多都是用浮选法处理, 不同于其他选矿方法, 浮选法需要添加各种药剂, 且药剂会与矿石发生多种反应, 因此铅锌浮选矿废水化学组分和性质复杂, 常含选矿药剂、细小悬浮物、矿物溶解的金属离子等污染物^[5], 这些污染物在废水中的含量往往数倍高于国家废水排放标准, 直接排放对生态环境造成严重破坏。面对现行严峻的环境压力, 近些年铅锌矿山工业开始大幅增加废水的回用比例, 但是由于废水中复杂的化学性质, 回用易恶化浮选效果, 直接影响选厂的技术经济

指标。铅锌选矿废水经过有效的处理已成为急需解决的问题。自改革开放以来, 我国的经济增长快, 但对环境保护的重视程度不够, 导致我国废水处理方面的技术开发起步晚, 基础研究薄弱, 处理设施欠缺。实践中, 表现出工艺技术落后, 水处理效果较差, 处理能力较低、成本高等问题^[6]。因此, 开发废水高效经济的处理技术和工艺, 对我国的环境、社会具有重要的意义^[7]。本文根据铅锌废水的基本性质, 综述了当前处理废水的研究成果, 对未来处理该废水的研究具有一定的促进和指导作用^[8]。

1 铅锌选矿废水

选矿废水水量大, 含药剂种类多且浓度高, 成分复杂, 有毒有害成分多^[2]。包括: 药剂和矿物溶解的重金属离子、残留药剂, 固体悬浮物, 设备所用机油等有机物^[9]。一般条件下, 选厂在浮选工段处理一吨矿石的耗水量约为 8 t 左右, 消耗调整剂、捕收剂、起泡剂等多种药剂, 每一种浮选药剂的使用量在 100~200 g/t 之间, 扩散到环境中的有机浮选药剂用量约为使用量的 20%~40%^[10], 严

收稿日期: 2020-06-16

基金项目: 国家自然科学基金(51504109)空间对称性差异对 FeS_2 晶体表面吸附特性及疏水性演变规律的影响

作者简介: 赵连兵(1992-), 男, 硕士研究生, 研究方向为有色金属资源清洁利用。

通信作者: 先永骏(1984-), 男, 副教授, 硕士研究生导师, 研究方向为有色金属资源清洁利用。

重污染环境和危害人类及其他生物的生命安全，不能直接用作分选和生活用水^[11]。

如废水直接外排，废水中的重金属离子易导致农作物减产和品质下降^[5]，改变水体 pH 值。人体体内若长期积累重金属容易引起基因突变，严重时甚至会诱发癌症等病症^[12]。例如，铅能与体内的一系列蛋白质、酶和氨基酸内的官能团络合，易使儿童智力低下和老年人痴呆、导致女性不育和生育异常^[13]。残留的浮选药剂部分具有毒性，常用的黄药量达 5 mg/L 及以上可毒死大部分鱼，如与二号油发生协同作用则毒性更大^[14]。废水中的有机污染物直接外排易使水体恶臭，富营养化，严重污染环境。

废水处理回用时，矿物自身溶解的钙、镁离子、残留的浮选药剂、细小悬浮物和重金属离子等会使浮选体系复杂多变，严重干扰浮选中矿物的活化、抑制和捕收作用。部分重金属离子易与药剂反应，消耗浮选药剂或形成沉淀而阻碍药剂与矿物的作用^[9]。如常见的 Pb^{2+} 、 Cu^{2+} 等离子对锌矿物浮选就具有一定的活化作用，但一些亲水离子，如 Ca^{2+} 等则易在锌矿物上附着而抑制锌矿物的上浮，在抑锌浮铅的过程中，常因为铅离子活化离子的作用，使铅精矿中夹杂不少的锌精矿；黄药等残留的浮选药剂会使浮选矿浆 pH 值、矿浆起泡性能等浮选性质不稳定，直接回用于选矿易产生“装甲”或者“翻花”现象，导致选矿指标波动，难以控制，此外，硫酸和氢氧化钠等腐蚀性药剂，容易溶解矿石和矿泥中的重金属离子或活性离子，改变目的矿物的表面结构等，严重影响目的矿物浮选结果的稳定性；矿浆中的细小悬浮物易消耗药剂、黏附于目的矿物表面、增大矿浆浓度，影响矿物的疏水、亲水性质，恶化精矿指标；不管是选矿药剂还是重金属离子，长期积累易通过食物链富集危害人类健康^[13,15]。综上，选矿废水不管是直排还是回用于选矿都必须经过适当的处理，减少污染、节约资源、保护环境^[16]。

2 铅锌选矿废水处理

为提升污水处理成效，降低污染负荷，提高水资源的利用率和防止水污染，常需要将选矿废水处理回用，回用废水一般从尾矿库返回选矿过程的外部返回^[17]，或从分选过程中返回选矿作业的内部返回^[18]。从原则上讲，矿山废水的综合利用应以多回用、少排放、无污染为宗旨^[19]，秉持

着从源头控制、过程消减和末端处理回用的全局思路，尽可能减少废水的产生量，处理最少的选矿废水，实现选矿废水厂内治理与资源化利用^[20]。源头控制要求选矿用水要以高效无污染为目标，提高操作人员综合素质，严控用水和药剂添加，同时管理人员做好药剂的添加和污水的分类工作，提升药剂和选矿用水单耗；过程消减要求在选厂过程中，争取减少补加水、冲洗水、冷却水等用水的添加，加大回水的循环应用，适配生产各工段控水设施，废水回用设施及相应收集管道、水泵等设施，避免因容量、规模不足而导致的废水溢流和外排^[21]；在铅锌矿选矿废水处理中，末端处理回用是最后环节，同时也是提升废水循环利用率的关键^[22]，末端处理要求对已污染的废水依据其污染程度选择直接外排、回用和适当处理再外排、回用^[23]。污染程度低的废水可直接回用或外排，如部分含 Pb^{2+} 等活化离子和浮选药剂的废水虽然污染物多，但这部分水返回相应浮选作业不但对浮选作业影响低而且还能降低捕收剂、活化剂等药剂的用量；部分污染严重的废水，根据选厂分选对象的不同，需进行不同深度的处理后返回相应选别系统；如尾矿水富含黄药等药剂，直接回用对浮选指标和生活环境都不利，常见的是将一部分水经处理后返回作为浮选补加水，另外一部分常输送至尾矿库经自然沉降、净化后返回作为冷却水等其他用途^[4]。目前，国内外净化回用铅锌废水的方法主要有沉降法，吸附法^[24]、氧化法、生物法^[25]等。

2.1 沉降法

简单的选矿废水处理方法有自然沉降法和混凝沉降法。自然沉降法是将选矿生产工作中产生的废水直接汇集于尾矿库，中间不添加任何药剂，利用大面积的尾矿库、自然光照和重力沉淀等自然因素作用降解尾矿库废水中的有害物质，并根据后续需要添加调整剂以调整废水为中性外排或者其他性质。谢巧玲采用自然沉降法净化湖南湘西氧化铅锌矿选矿废水，净化后的废水与清水按一定比例回用于生产，经过 7 d 连续生产 6 次循环使用，锌回收率达 85% 以上，精矿中锌 45% 左右，废水循环利用率高达 98% 以上^[26]，自然沉降法虽然简单易行，不会产生二次污染，但是自然沉降法处理所需时间长，对酸碱、残留药剂、重金属离子、处理能力相对较弱^[2]。对于比重小，聚团速度慢的污染物常在自然沉降的基础上加入

一定量的混凝剂促进或者强化废水污染物的聚团沉淀, 其典型的处理方法见图 1^[12]。

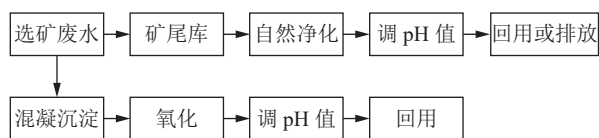


图 1 混凝沉降工艺

Fig.1 Coagulation and sedimentation process

刘述忠等^[27]用聚丙烯酰胺 (PAM)、硫酸铝和 JCSS (由珊瑚、贝壳、海藻化石、大理石等经高温加工形成的超细粉末) 三种絮凝剂处理铅锌选矿废水, 将 JCSS 处理过的废水与清水进行铅锌浮选对比实验, 得出 JCSS 絮凝剂处理的回水浮选指标与清水相当, 经 JCSS 絮凝剂处理后的废水直接回用; 行瑶等^[28]采用“螯合 + 混凝 + 沉淀”工艺强化处理铅锌矿尾矿废水, 以尿素为螯合剂提前螯合去除部分铅离子, 聚合硫酸铝强化沉淀, 在尿素投加量为 0.5 mg/L, 聚合硫酸铝的投加量为 3 mg/L 的条件下, 铅锌矿尾矿废水中铅离子的总去除率达 94% 以上。相对于自然沉降法, 混凝沉降法强化沉淀作用, 对一些难絮凝聚团的污染物去除效果较好, 污染物沉淀效率高, 但是混凝沉降法药剂成本大, 而且易产生二次污染, 净化周期长, 因而很少用于污染程度低的废水^[29]。

2.2 吸附法

当废水污染成分复杂的情况下, 通常会选用吸附法, 分子引力、化学键力、静电力是吸附法处理废水过程中的主要作用力, 膨润土、沸石和活性炭是常用的吸附剂^[30]。赵学中^[31]等人向西南某铅锌矿废水中加入适量的粉末活性炭后, 处理后出水的 COD_{Cr} 由 318 mg/L 降至 180 mg/L, 亦可降低废水起泡性, 而且随着粉末活性炭的用量的增加, 废水的起泡性越来越弱, 废水 COD_{Cr} 也明显降低。李琛等^[32]以磁改性海泡石 (Mms) 取出含多种重金属离子的铅锌废水, 当 Mms 投加量为 3.5 g/L, pH=4, 反应时间为 60 min, 可有效去除废水中的重金属离子, 达到 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 As^{3+} 、 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 的去除率达 80% 以上。高宏^[33]采用硫酸改性粉煤灰微珠吸附处理选矿废水, 在 pH 值为 9, 粉煤灰微珠投加量为 10 g/L, 吸附时间为 3 h 时, 铅锌选矿实际废水中 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 离子的去除率在 60% 左右, 但对 Cu^{2+} 去除率较低, 丁基黄药的去除率达 95.00%。吸附法具有成本低和效果好的优点, 但是吸附剂难以重复利

用和生产^[9], 严重阻碍吸附法的推广实践。

2.3 氧化法

氧化法主要是运用强氧化剂处理选矿废水中的黄药等选矿浮选药剂, 降低浮选药剂含量, 调整废水酸碱度, 以达到外排或者回用的标准。双氧水、次氯酸钠、臭氧、Fenton 试剂是铅锌选矿废水常用的氧化剂。易龙生等^[34]采用混凝-非均相 Fenton 氧化工艺处理铅锌废水, 处理后出水中 SS 的质量浓度大 26 mg/L、 Pb^{2+} 质量浓度为 0.28 mg/L, COD 为 37.10 mg/L, 去除率分别达到 85.47%、98.77% 和 85.58%, 出水水质满足 GB25466-2010 中的直接排放标准; 顾泽平等^[35]在不同的酸碱度和氧化时间的条件下, 加入亚铁离子及过氧化氢, 可有效去除水中 COD, 将 COD 从 1000 mg/L 降到 32 mg/L, COD 去除率达 96.8%, 达到废水排放标准, 田静等采用次氯酸钠处理广东某铅锌矿尾矿库废水, 在次氯酸钠投加量 125 g/t、次氯酸钠游离碱为 0.8%、搅拌强度为 60 r/min、反应时间为 40 min 的较佳实验条件下, 可将 COD 为 90 Mg/L, pH 值为 6.5~7.5 的废水经处理后 COD 降为 40~60 mg/L, pH 值降为 7 左右; 张东方等^[36]以混凝沉淀-接触氧化方法处理某铅锌选矿废水, 当溶解氧为 3.5 mg/L 时, 经氧化处理后, 出水中化学需氧量、氨氮、总磷、浊度和悬浮物浓度分别低于 90 mg/L、0.35 mg/L、15 mg/L 和 10 mg/L, 去除率分别达到了 70%、75%、45% 和 80%。化学氧化法一般用在废水污染严重, 成分复杂的铅锌废水处理, 但加入的强氧化剂成本较高, 部分药剂有毒性, 易产生二次污染, 制约了化学氧化法的发展^[37]。

2.4 生物法

生物处理法主要是通过自然界中微生物自身的新陈代谢作用, 将铅锌选矿废水中的污染物质向着无害无机物转化, 以降低废水中有机污染物含量为目的。该法集人工湿地中的填料、植物、微生物的物理、化学及生物的协同作用, 经过沉淀、微生物分解、过滤、吸附、吸收、氧化还原等诸多过程, 在处理废水方面有着相当的优势^[38]。阳承胜等^[39]以宽叶香蒲 (*Typha latifolia*) 为主的人工湿地系统处理广东省韶关市凡口铅锌矿废水, 发现宽叶香蒲人工湿地生态系统能将 COD、固体悬浮物、Pb、Zn、Cu 和 Cd 的去除率达 92% 以上, 经处理后, 水质得到明显改善。董志成等^[40]调查发现, 铜绿山湿地中的芦苇对金属

具有吸收作用，且植物的根部对重金属的富集能力较强，而茎、叶容易富集Pd。较之其他处理方法，生物处理法使用面广、成本低廉，无二次污染等优势，近些年来是选矿界废水处理研究的一大热点，但是生物法所需微生物驯化周期长，处理所需时间长，而且生物处理法应选择来源广、易培养、繁殖能力强以及易基因变异的微生物作为驯化对象，选择培养和驯化较为困难，微生物在不同废水环境中的适应能力和生存能力较弱^[30]。

2.5 其他处理方法

随着选矿工艺的发展，选矿废水污染日益复杂，传统的废水处理方法渐渐满足不了当下废水的处理需要，一些新型的废水处理方法也慢慢进入人们的视野。Permeable reactive barrier，简称为PRB，即可渗透反应墙，是一种新兴绿色的污水处理方法，与上述污水处理方法相比，具有能持续处理多种污染物、投资小、安装施工方便、综合处理效果好等优点^[41]。刘静静^[41]以铅锌硫化矿选矿废水为研究对象，采用改性红辉沸石、活性炭、铁粉、石英砂等为反应介质按不同的配比，设计了可渗透反应墙反应器处理广西某铅锌硫化矿选矿废水，发现四种PRB反应器对该废水有较好的去除效果，化学需氧量、氨氮、总砷、总镉、总铅、总锌、总铜的最大去除率可达85%以上。离子交换纤维是继离子交换树脂后的一种新型功能材料，其具有比表面积大、传质速率快、阻力小、易循环再生等特性^[30]。覃朝科等^[42]采用ZB-1型强酸性离子交换纤维对某铅锌矿重金属废水，经离子交换纤维柱处理后，出水中Cd、Zn含量均可达到地表水Ⅲ类水质标准；徐文忻采用离子交换联合方法处理经自然沉淀后铅锌废水，净化后水质可以达到《铅、锌工业污染物排放标准》（GB25466—2010）。

3 结论

铅锌选矿废水来源广，数量多，污染物复杂多样，直接外排易污染水体，使土壤板结等，回用则消耗药剂、使浮选效果较差、过程不易控制等，所以必须对铅锌废水加以处理方可回用或者外排。沉降法、氧化法、吸附法、生物处理法等常见的铅锌废水处理方法各有利弊，而光催化降解法、离子交换纤维、可渗透反应墙以及各方法的协同处理效果研究匮乏。

综合来看，应加大海泡石、沸石等质优价廉废水处理材料以及绿色废水处理方法的开发利用研究。随着矿业的发展和绿色发展的要求，单一的废水处理方法不仅不能取得好的废水处理效果，而且处理效率低、处理成本高，废水不同阶段污染深度不同，应采用不同的处理方法分阶段、分质净化废水；为绿色高效处理废水，应加强废水分质、分类工作的发展研究，同时强化废水处理各方法的协同联合处理工艺的研究，提高废水处理效率和降低处理成本。加强绿色高效处理方法的研究，尽可能将实验室的研究成果向实践转化，真正做到以实验指导生产，使废水处理更加高效、经济、绿色。铅锌废水处理工程是一个整体工程，应兼顾选矿的矿前准备、选矿过程以及后期产品处理等过程产生的废水，从选矿生产所涉及的种种因素、条件入手（药剂、工作人员，设备等）并采取不同的处理手段，严控各过程废水的产生、药剂的选择和用量。

参考文献：

- [1] 何建军, 缪海花. 含重金属离子的铅锌矿尾矿废水危害及治理研究[J]. *中国资源综合利用*, 2017(10):38-42.
- [2] HE J J, MIAO H H. Hazards and treatment of lead-zinc tailings wastewater containing heavy metal ions[J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2017(10):38-42.
- [3] 李荣庭. 铅锌选矿废水处理及回用研究[D]. 长沙: 中南大学, 2009.
- [4] LI R T. Treatment and reuse of lead-zinc beneficiation wastewater[D]. Changsha: Central South University, 2009.
- [5] 章丽萍, 项俊, 陈婷婷, 等. 水解酸化-BAF处理铅锌矿选矿废水研究[J]. *环境科学与技术*, 2016, 39(2):186-190.
- [6] ZHANG L P, XIANG J, CHEN T T, et al. Study on the treatment of lead-zinc ore dressing wastewater by hydrolytic acidification-BAF[J]. *Environmental Science and Technology*, 2016, 39(2):186-190.
- [7] 彭新平, 陈伟, 吴兆清. 硫化铅锌矿选矿废水处理与回用技术研究[J]. *湖南有色金属*, 2010, 26(2):40-42.
- [8] PENG X P, CHEN W, WU Z Q. Study on wastewater treatment and reuse technology of lead-zinc sulfide ore dressing[J]. *Hunan Non-ferrous Metals*, 2010, 26(2):40-42.
- [9] KANG J, CHEN C, SUN W, et al. A significant improvement of scheelite recovery using recycled flotation wastewater treated by hydrometallurgical waste acid[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 151:419-426.
- [10] 李文东, 王永松, 李小辉. JCSS 水处理技术在选矿废水中

- 的研究及应用[J]. 世界有色金属, 2013(6):43-45.
- LI W D, WANG Y S, LI X H. Research and application of JCSS water treatment technology in mineral processing wastewater[J]. *World Non-ferrous Metals*, 2013(6):43-45.
- [7] 杨清伟, 束文圣, 林周, 等. 铅锌矿废水重金属对土壤—水稻的复合污染及生态影响评价[J]. *农业环境科学学报*, 2003, 22(4):385-390.
- YANG Q W, SHU W S, LIN Z, et al. Evaluation of combined pollution and ecological impact of heavy metals in lead-zinc mine wastewater on soil-rice[J]. *Journal of Agricultural Environmental Science*, 2003, 22(4):385-390.
- [8] 卢绿荣, 陈建华, 张一兵. 金属选矿废水处理现状及循环利用[J]. *现代矿业*, 2019(2):100-102.
- LU L R, CHEN J H, ZHANG Y B. Metal dressing wastewater treatment status and recycling[J]. *Modern Mining*, 2019(2):100-102.
- [9] 张作金, 陈海彬, 吴天来, 等. 我国选矿废水处理研究进展[J]. *矿产保护与利用*, 2020, 40(1):79-84.
- ZHANG Z J, CHEN H B, WU T L, et al. Research progress of mineral processing wastewater treatment in China[J]. *Mineral Protection and Utilization*, 2020, 40(1):79-84.
- [10] 徐文析. 自然沉淀-离子交换联合方法处理某锡铅锌多金属矿选矿废水初步研究[J]. *矿产与地质*, 2015(6): 803-805.
- XU W X. Preliminary study on treatment of mineral processing wastewater from a tin lead zinc polymetallic ore by natural precipitation ion exchange method[J]. *Mineral Resources and Geology*, 2015(6): 803-805.
- [11] WU H, WANG W, HUANG Y, et al. Comprehensive evaluation on a prospective precipitation-flotation process for metal-ions removal from wastewater simulants[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2019, 371:592-602.
- [12] 缪海花, 何建军. 铅锌化学选矿重金属废水的处理方案探究[J]. *中国资源综合利用*, 2017, 35(11):51-53.
- MIAO H H, HE J J. Study on treatment scheme of heavy metal wastewater from lead zinc chemical beneficiation[J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2017, 35(11):51-53.
- [13] 郑雅杰, 彭振华. 铅锌矿选矿废水的处理及循环利用[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2007(3):98-103.
- ZHENG Y J, PENG Z H. Treatment and recycling of lead-zinc ore dressing wastewater[J]. *Journal of Central South University (Natural Science Edition)*, 2007(3):98-103.
- [14] 张范春, 马平杰. 铅锌矿选矿废水的处理及循环利用[J]. *城市建设理论研究:电子版*, 2015(9):1632.
- ZHANG F C, MA P J. Treatment and recycling of mineral processing wastewater from lead zinc mine[J]. *Theoretical Research on Urban Construction: Electronic Edition*, 2015(9):1632.
- [15] AHLUWALIA S S, GOYAL D. Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater[J]. *Bioresource Technology*, 2007, 98(12):2243-2257.
- [16] 黄伟. 铅锌矿选矿废水的处理及循环利用[J]. *城市建设理论研究:电子版*, 2013(14):1-5.
- HUANG W. Treatment and recycling of wastewater from lead zinc ore dressing[J]. *Theoretical Research on Urban Construction: Electronic Edition*, 2013(14):1-5.
- [17] LIN S, LIU R, WU M, et al. Minimizing beneficiation wastewater through internal reuse of process water in flotation circuit[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 245:118898.
- [18] FARROKHPAY S, ZANIN M. An investigation into the effect of water quality on froth stability[J]. *Advanced Powder Technology*, 2012, 23(4):493-497.
- [19] 汤作锬, 王仁东, 宋瑞, 等. 二道河硫化铅锌矿废水分步处理与回用工艺方法探讨[J]. *湖南有色金属*, 2019, 35(1):58-60+6.
- TANG Z K, WANG R D, SONG R, et al. Discussion on the process of water treatment and reuse of waste water from erdaohe lead zinc sulfide mine[J]. *Hunan Nonferrous Metals*, 2019, 35(1):58-60+6.
- [20] 敖福顺, 江锐, 刘志成, 等. 会泽铅锌矿选矿废水处理技术进展[J]. *矿产保护与利用*, 2017(5):67-71.
- AO S F, JIANG R, LIU Z C, et al. Technological progress of mineral processing wastewater treatment in Huize Lead zinc mine[J]. *Mineral Protection and Utilization*, 2017(5):67-71.
- [21] 江训普, 黄德镛, 钟彩彩, 等. 云南某铅锌矿废水清洁处理对生产的影响[J]. *矿产综合利用*, 2017(5):100-104.
- JIANG X P, HUANG D Y, ZHONG C C, et al. The effect of clean treatment of wastewater from a lead zinc mine in Yunnan on production[J]. *Multipurpose Utilization of Minerals*, 2017(5):100-104.
- [22] 陈俊, 刘军华, 王娜. 铅锌矿选矿废水处理技术进展[J]. *有色金属设计*, 2018(2):43-45.
- CHEN J, LIU J H, WANG N. Technological progress of wastewater treatment in lead zinc ore dressing[J]. *Nonferrous Metal Design*, 2018(2):43-45.
- [23] 孙水裕, 缪建成, 刘如意, 等. 选矿废水净化处理与回用的研究与生产实践[J]. *环境工程*, 2005, 23(1):7-9.
- SUN S Y, MIAO J C, LIU R Y, et al. Research and production practice on purification and reuse of beneficiation wastewater[J]. *Environmental Engineering*, 2005, 23(1):7-9.
- [24] 胡涛, 李亚云. 含铬废水的治理研究[J]. *污染防治技术*, 2005(4):5-7.

- HU T, LI Y Y. Treatment of chromium containing wastewater[J]. *Pollution Control Technology*, 2005(4):5-7.
- [25] 柴立元, 刘恢, 闵小波, 等. 改性活性污泥处理含铬废水[J]. *中国有色金属学报*, 2005, 15(9):1458-1464.
- CHAI L Y, LIU H, MIN X B, et al. Treatment of chromium containing wastewater by modified activated sludge[J]. *Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2005, 15(9):1458-1464.
- [26] 谢巧玲, 陈福明, 王丹丹. 氧化铅锌矿选矿废水的循环利用[J]. *云南冶金*, 2017, 46(5):22-28.
- XIE Q L, CHEN F M, WANG D D. Recycling of lead zinc oxide ore dressing wastewater[J]. *Yunnan Metallurgy*, 2017, 46(5):22-28.
- [27] 刘述忠, 陈享享, 张益玮, 等. JCSS 絮凝剂在铅锌选矿废水处理的应用研究[J]. *有色金属(选矿部分)*, 2014(5):85-87.
- LIU S Z, CHEN X X, ZHANG Y W, et al. Study on the application of JCSS flocculant in the treatment of wastewater from lead-zinc ore dressing[J]. *Nonferrous Metals (Mineral Processing Section)*, 2014(5):85-87.
- [28] 行瑶, 程爱华, 刘哲. 强化混凝沉淀法处理铅锌矿尾矿废水中铅离子的研究[J]. *中国矿业*, 2016, 25(11):162-164+72.
- XING Y, CHENG A H, LIU Z. Study on the treatment of lead ions in lead-zinc tailings wastewater by enhanced coagulation and sedimentation[J]. *China Mining*, 2016, 25(11):162-164+72.
- [29] POZDNIAKOVA T A, MAZUR L P, BOAVENTURA R A R, et al. Brown macro-algae as natural cation exchangers for the treatment of zinc containing wastewaters generated in the galvanizing process[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 119:38-49.
- [30] 邹照华, 何素芳, 韩彩芸, 等. 吸附法处理重金属废水研究进展[J]. *环境保护科学*, 2010(3):26-28+112.
- ZOU Z H, HE S F, HAN C Y, et al. Research progress on adsorption treatment of heavy metal wastewater[J]. *Environmental Protection Science*, 2010(3):26-28+112.
- [31] 赵学中, 周廷熙, 王进, 等. 铅锌矿废水净化处理及回用试验研究[J]. *矿冶*, 2010(1):88-90.
- ZHAO X Z, ZHOU T X, WANG J, et al. Experimental study on purification and reuse of wastewater from lead zinc mine[J]. *Mining and Metallurgy*, 2010(1):88-90.
- [32] 李琛, 夏强, 戴宝成. 海泡石改性及在铅锌废水处理中的应用研究[J]. *电镀与精饰*, 2015, 37(1):19-26.
- LI C, XIA Q, DAI B C. Study on modification of sepiolite and its application in lead-zinc wastewater treatment[J]. *Electroplating and Finishing*, 2015, 37(1):19-26.
- [33] 高宏. 粉煤灰微珠的硫酸改性及铅锌选矿废水吸附研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2018.
- GAO H. Modification of fly ash beads with sulfuric acid and adsorption of lead and zinc ore dressing wastewater[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2018.
- [34] 易龙生, 何磊. 混凝-非均相 Fenton 氧化工艺处理铅锌选矿废水[J]. *水处理技术*, 2017(10):85-88.
- YI L S, HE L. Treatment of lead zinc ore dressing wastewater by coagulation heterogeneous fenton oxidation process[J]. *Water Treatment Technology*, 2017(10):85-88.
- [35] 田静, 孙水裕, 曾佳俊, 等. 次氯酸钠处理某铅锌矿尾矿库外排废水的试验研究[J]. *环境污染与防治*, 2013, 35(10):33-35.
- TIAN J, SUN S Y, ZENG J J, et al. Experimental study on treatment of wastewater from tailings pond of a lead-zinc mine with sodium hypochlorite[J]. *Environmental Pollution and Prevention*, 2013, 35(10):33-35.
- [36] 张东方, 陈涛. 接触氧化法处理铅锌矿选矿废水试验研究[J]. *广东化工*, 2012, 39(6):285-287.
- ZHANG D F, CHEN T. Experimental study on treatment of lead zinc ore dressing wastewater by contact oxidation method[J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2012, 39(6):285-287.
- [37] 严群, 余洋, 周娜娜, 等. 氧化-混凝法处理含砷选矿废水的试验研究[J]. *稀有金属*, 2014, 38(1):130-137.
- YAN Q, YU Y, ZHOU N N, et al. Experimental study on treatment of arsenic containing mineral processing wastewater by oxidation coagulation method[J]. *Rare Metals*, 2014, 38(1):130-137.
- [38] YANG B, LAN C Y, YANG C S, et al. Long-term efficiency and stability of wetlands for treating wastewater of a lead/zinc mine and the concurrent ecosystem development[J]. *Environmental Pollution*, 2006, 143(3):499-512.
- [39] 阳承胜, 蓝崇钰. 宽叶香蒲人工湿地对铅/锌矿废水净化效能的研究[J]. *深圳大学学报(理工版)*, 17(1): 51-57.
- YANG C S, LAN C Y. Study on purification efficiency of *Typha latifolia* constructed wetland for lead / zinc mine wastewater[J]. *Journal of Shenzhen University (Science and Engineering Edition)*, 17 (1): 51-57.
- [40] 董志成, 鲍征宇, 谢淑云, 等. 湿地芦苇对有毒重金属元素的抗性及其吸收和累积[J]. *地质科技情报*, 2008, 27(1):80-84.
- DONG Z C, BAO Z Y, XIE S Y, et al. Resistance, absorption and accumulation of toxic heavy metals in *Phragmites australis*[J]. *Geoscience and Technology Information*, 2008, 27(1):80-84.
- [41] 刘静静. 可渗透反应墙处理铅锌硫化矿选矿废水的实验研究[J]. *广州化工*, 2015, 43(1):117.
- LIU J J. Experimental study on the treatment of mineral

processing wastewater from lead zinc sulfide ore by permeable reaction wall[J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2015, 43(1):117.

[42] 覃朝科, 李运稳, 刘静静, 等. 离子交换纤维深度处理铅锌矿重金属废水试验研究[J]. *水处理技术*, 2013, 39(12):99-

101.

QIN C K, LI Y W, LIU J J, et al. Experimental study on advanced treatment of heavy metal wastewater from lead zinc mine by ion exchange fiber[J]. *Water Treatment Technology*, 2013, 39(12):99-101.

Brief Introduction of Lead and Zinc Beneficiation Wastewater Treatment

Zhao Lianbing, Xian Yongjun, Wen Shuming, Liang Guanyu, Hong Yang, Chen Zhanghong
(State Key Laboratory of Complex Nonferrous Metal Resources Clean Utilization, Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunan, China)

Abstract: Heavy metal ions and residual flotation reagents are important components of lead-zinc mineral flotation wastewater. Discharge of the untreated wastewater will pollute the environment, and the direct reuse of it will affect the mineral processing index. Different lead-zinc wastewater contains different kinds and amounts of heavy metal ions and mineral flotation reagents. According to properties and uses of different wastewater, it is necessary to adopt targeted wastewater treatment methods to treat the lead-zinc mineral mining wastewater before it can be reused or discharged, which is the inevitable requirement of green mines with environmental protection and water saving; This paper mainly introduces the basic properties, sources, hazards and treatment methods of lead-zinc wastewater, which has a certain reference and promotion effect for lead-zinc wastewater treatment and development in the later stage.

Keywords: Lead-zinc wastewater; Hazard; Treatment method

(上接第 74 页)

Application and Practice of Composite Wear-Resistant Materials in Jiama Concentrator

Xie Zhao, Bai Liping, Liu Mingshi, Guo Wei, Wang Haiqing
(Tibet Huatailong Mining Development Co., Ltd, Lhasa, Tibet, China)

Abstract: Jiama mining area is remote and its industrial base is weak. The common production materials are imported from the mainland, and the single material cannot prolong the service life effectively because of its limited function. In order to solve this problem, based on the general survey data and the research on the material properties of each process link, the advanced properties of the wear resistant materials at home and abroad are marked, and the composite application tests of different wear resistant materials are conducted. A batch of composite wear-resistant materials have been developed to deal with the different working conditions of the concentrator. After three years of industrial production, the equipment operation rate of the concentrator reached over 95%, far exceeding the average of 90% of its peers. The resulting economic, ecological and social benefits are extremely significant.

Keywords: Jiama concentrator; Equipment operation rate promotion; Composite wear-resistant