

有色金属矿山选矿废水处理技术及生产应用

刘勇

新疆伊吾县宝山矿业有限责任公司

DOI:10.12238/ems.v7i6.13858

[摘要] 本文系统探讨了有色金属矿山选矿废水处理技术及其在生产中的实际应用。文章首先指出了有色金属矿山选矿废水的特点与危害,随后详细阐述了物理法、化学法、生物法及组合处理技术的原理与工艺,最后介绍了哈密地区黄铜镍矿的选矿废水处理案例,旨在为有色金属矿山选矿废水的达标排放与循环利用提供可靠的技术路径,推动有色金属行业的绿色可持续发展。

[关键词] 有色金属矿山; 选矿废水; 处理技术; 生产应用

前言:

有色金属作为现代工业的“维生素”,在航空航天、电子信息、新能源等领域具有不可替代的战略地位。我国有色金属年产量连续多年居全球首位,但矿山选矿过程中产生的大量废水已成为重要污染源。选矿废水含有重金属离子、残余选矿药剂及悬浮物,成分复杂、毒性强、可生化性差、水质波动大。若未经处理直接排放,不仅导致土壤重金属富集、水体富营养化,还可能通过食物链威胁人类健康。随着《重金属污染综合防治“十四五”规划》的实施,选矿废水的深度处理与资源化利用已成为行业亟待攻克的技术难题。

1. 有色金属矿山选矿废水的特点与危害

1.1 废水的特点

1.1.1 成分复杂

选矿废液的物质组成具有显著异质性,主要取决于矿床成因类型、分选技术路线及化学添加剂种类。其典型特征表现为:金属元素富集(铜矿尾液富含 Cu^{2+} ,铅锌矿废液含 $\text{Pb}^{2+}/\text{Zn}^{2+}$ 复合物)、有机复合物残留(浮选工序使用的烃基黄酸盐类、二硫代磷酸盐类及萜烯类发泡剂)、矿物微粒悬浮体系(磨矿与分级过程产生的胶态颗粒物)。不同矿区废液组分呈现明显的地域性差异特征^[1]。

1.1.2 水量与水质波动大

有色金属矿山选矿废水的产生量 and 水质受多种因素影响,具有显著的波动性。从时间维度看,矿山开采规模的变化、选矿生产周期的调整都会导致废水产生量大幅波动。在采矿爆破后的洗矿阶段,废水瞬时流量可达正常工况的2-3倍;而选矿厂检修或生产调试期间,废水产生量则会明显减少^[2]。

1.1.3 酸碱性差异明显

选矿工艺的不同决定了废水酸碱性存在显著差异。部分采用酸浸工艺处理硫化矿的选矿厂,会产生酸性较强的废水。例如,在氧化铜矿的硫酸浸出过程中,废水pH值可低至2-4,同时含有大量硫酸根离子和溶解的重金属离子。而采用碱性浮选工艺的选矿厂,为了提高浮选效果,往往会大量使用石灰、氢氧化钠等碱性药剂调节pH值,导致废水呈强碱性,pH值一般在9-12之间,如铅锌矿、萤石矿的浮选过程。这种酸碱性的极端差异,给废水处理带来了巨大挑战,不同酸碱性的废水需要采用截然不同的处理工艺和药剂。

1.2 废水的危害

第一,废水中的重金属离子进入水体后会破坏水生生态系统,影响鱼类、浮游生物等水生生物的生长与繁殖,甚至导致物种灭绝;悬浮物会降低水体透明度,影响水生植物的光合作用,进而破坏整个生态链;有机药剂会消耗水中的溶解氧,导致水体缺氧,引发水质恶化。

第二,若将未经处理的废水直接灌溉农田或渗入土壤,会带来严重的土壤污染问题。重金属离子进入土壤后,会在土壤颗粒表面吸附或与土壤中的有机质、矿物质发生化学反应,不断积累,在累积过程中会改变土壤的理化性质^[3],如

降低土壤的孔隙度、透气性和保水性,破坏土壤团粒结构,导致土壤板结。同时,重金属会影响土壤微生物的活性和群落结构,抑制土壤中有益微生物的生长和繁殖,降低土壤肥力。受污染土壤种植的农作物,其生长和品质会受到严重影响,同时重金属会通过食物链在农作物中富集,最终进入人体,危害人体健康。

第三,镉、汞等选矿废水中的重金属离子通过食物链进入人体后,会在肝脏、肾脏、大脑等重要器官中蓄积,引发多种严重疾病。镉中毒会导致骨痛病,患者骨骼严重变形、疼痛难忍,最终失去行动能力;汞中毒会损害神经系统,影响人的认知、记忆和行为能力,出现记忆力减退、肢体震颤、情绪异常等症状。此外,废水中的有机污染物和其他有害物质也可能通过饮水、皮肤接触等途径进入人体,长期接触会增加患癌症、心血管疾病等重大疾病的风险^[4],严重威胁人类健康和生命安全。

2. 有色金属矿山选矿废水处理技术

2.1 物理处理技术

2.1.1 沉淀法

沉淀法是依靠重力让废水中的悬浮物沉降分离的常用办法。根据原理不同,沉淀法可分为自然沉淀和混凝沉淀。自然沉淀适合去掉颗粒较大的杂质,典型的代表就是矿石碎渣和粗泥沙。哈密的铜矿选矿厂会建一个大沉淀池,让废水慢慢流进去,就像河里的泥沙会沉到水底一样,这些大颗粒悬浮物也会慢慢沉到池底,然后定期把沉淀物挖出来处理^[5]。

混凝沉淀则是给废水加“魔法药剂”——絮凝剂,比如聚合氯化铝和聚丙烯酰胺。此类药剂的作用很大,能让水里的细小悬浮物和胶体颗粒不再“互相排斥”,而是手拉手聚成大絮团,就像面粉在水里搅拌后会成团下沉一样,加快沉淀速度。比如哈密某铜矿废水里有很多像灰尘一样的细小颗粒,光靠自然沉淀很难去掉,加了这两种药剂后,80%以上的悬浮物都能被“抓住”沉下去,水就变清了很多。

2.1.2 过滤法

过滤法就像用筛子筛东西,让废水通过有小孔的材料,把悬浮物拦住。常用的“筛子”有石英砂、无烟煤、活性炭等。进行类比的话,砂滤就像用粗筛子,作用在于去掉比较大的颗粒,比如哈密金矿废水里的小石子、粗砂,通过装满石英砂的过滤罐,过完罐之后大颗粒就被留在砂子里,水继续流出去。

膜过滤则像更细的筛子,分为微滤、超滤、纳滤、反渗透等,能拦住更小的东西,比如胶体、重金属离子、大分子有机物。譬如,哈密尾亚金矿的废水里有很细的悬浮物和少量重金属,用超滤和反渗透组合的膜过滤技术,就像用多层细密的网,先过滤掉稍大的颗粒,再把重金属离子和小分子杂质也拦住,最后出来的水就干净多了,能回用到矿山绿化。

2.2 化学处理技术

2.2.1 中和法

中和法主要是给废水“调酸碱度”,即让废水符合排放标

准。如果废水太酸(比如哈密的铅锌矿废水, pH值只有3-4, 像白醋一样酸), 就加石灰乳、氢氧化钠等碱性药剂; 如果太碱, 就加硫酸、盐酸。哈密某铅锌矿处理酸性废水时, 会往池子里加石灰乳, 一边加一边搅拌, 用仪器监测 pH 值, 直到调到6-9(接近自来水的酸碱度)。这时, 石灰不仅能中和酸性, 还能和水里的锌、铁等重金属离子反应, 生成像水垢一样的氢氧化物沉淀, 顺便去掉一部分重金属^[6]。

2.2.2 化学沉淀法

化学沉淀法是给废水加“沉淀剂”, 让重金属离子变成不溶于水的固体, 如处理哈密铜镍矿废水里的铜、镍离子时, 会加硫化钠。硫化钠遇水后释放出硫离子, 硫离子和铜、镍离子一见面就“抱成团”, 生成硫化铜、硫化镍沉淀, 生成后的沉淀会像泥沙一样沉到水底, 然后被清理掉。实际操作中, 工人会先算好需要加多少硫化钠, 分两次加: 先加大部分, 等10分钟让其反应, 再补加一点, 确保尽可能多的重金属离子被“抓住”。利用化学沉淀法可实现95%以上的去除率, 比单一的中和法效果好很多。

2.2.3 氧化还原法

氧化还原法是借助“化学反应魔法”, 把有毒物质变成无毒的。例如哈密的含氰矿废水, 氰化物有剧毒, 就用臭氧和活性炭联合处理。臭氧是一种强氧化剂, 像“清洁工”一样, 能破坏氰化物的分子结构, 活性炭则像海绵, 吸附残留的有害物质。具体过程是: 废水先进入一个装满活性炭的罐子, 同时通入臭氧气体, 臭氧在活性炭的帮助下, 更快地把氰化物分解成二氧化碳和氮气, 这样处理后的废水就没有毒了, 能安全排放。

2.3 生物处理技术

2.3.1 微生物法

微生物法是利用微生物的代谢作用, 把废水中的有机污染物分解成二氧化碳、水等无害物质, 同时此法对重金属离子也有一定的吸附和转化作用^[7]。这些微生物分两种: 喜欢氧气的好氧微生物和讨厌氧气的厌氧微生物。进行好氧处理时, 典型的方法是生物接触氧化法, 在实践该法的过程中, 哈密的小型矿山会在池子里放一些像海绵一样的填料, 让微生物附着在上面, 然后不断往池子里通空气, 微生物就会在有氧环境下把废水中的浮选药剂等有机物分解成水和二氧化碳, 就像肚子里的消化酶分解食物一样, 该法对有机物的去除率能达到70%-80%。

厌氧处理则是在密封的池子里, 让不需要氧气的微生物分解有机物, 虽然速度慢, 但能处理一些难分解的物质。哈密冬季气温低, 微生物活性会下降, 所以有些矿山会给池子加保温层, 或者选择更耐寒的微生物品种, 保证冬天也能正常处理废水。

2.3.2 植物修复法

植物修复法是“借植物的力量”净化废水。有些植物特别能“吸收重金属”, 比如蜈蚣草喜欢吃砷, 遏蓝菜擅长“囤”锌和镉。哈密矿山周边的轻度污染水体里, 种了很多芦苇和菖蒲, 这些水生植物的根就像“吸管”, 能把水里的重金属吸到自己体内, 同时还能吸收一些有机污染物。当地环保人员会定期收割这些植物, 把吸收了重金属的植物进行集中处理, 避免重金属再次释放到水里, 既净化了环境, 又不会破坏生态, 一举两得。

2.4 组合处理技术

单一方法很难解决复杂的废水问题, 所以哈密的大型矿山常把几种技术“组队”使用。比如“混凝沉淀-中和-生物处理”组合: 先让废水经过混凝沉淀池, 去掉大部分悬浮物; 再用中和法调 pH 值, 顺便沉淀一部分重金属; 最后让微生物处理剩下的有机物和少量重金属, 就像“接力赛”一样, 各环节分工合作。

另一种“膜过滤-化学沉淀-氧化还原”组合则适合处理含有毒物质和重金属的废水: 先用膜过滤拦住悬浮物和部分重金属, 再用化学沉淀法处理剩下的重金属, 最后用氧化还原法去除难分解的有毒物质^[8]。哈密某大型铜矿用这种组合工艺后, 废水不仅达标排放, 还能把处理后的水回用到选矿流程, 比如搅拌矿石、冲洗设备, 每年能节约几十万吨水, 相当于一个小型水库的蓄水量。

3. 有色金属矿山选矿废水处理生产应用案例

黄山铜镍矿是哈密的“老矿”, 每天产生的废水中含有铜、镍、钴等重金属, 还有浮选时用的有机药剂。而且, 废水是酸性的, 直接排放会污染土壤和地下水, 故矿山采用“中和-硫化沉淀-生物氧化”三步法:

第一步, 往酸性废水里加石灰乳, 给酸水“兑碱”, pH 值从3左右调到8-9, 这时水里的部分重金属离子(比如钴)先变成氢氧化物沉淀, 被初步过滤掉; 第二步, 加硫化钠, 专门“对付”铜和镍离子, 让其变成硫化物沉淀, 这一步能去掉95%以上的铜和镍; 第三步, 把废水送进生物氧化池, 池子里的微生物会“吃掉”残留的有机药剂, 比如黄药、黑药, 让 COD(衡量有机物污染的指标)从400mg/L降到60mg/L以下。

处理后的废水清亮透明, 铜、镍离子浓度分别降到0.2mg/L和0.3mg/L, 远低于国家一级排放标准。更厉害的是, 矿山把这些水回用到选矿车间, 每天能少用1000多吨新鲜水, 相当于500户家庭一天的用水量, 既省钱又环保, 周边的草场和农田也不再担心被污染了。

结束语:

有色金属矿山选矿废水处理技术的研究与应用对于保护生态环境、实现有色金属行业可持续发展具有重要意义。不同处理技术在实际应用中各有优劣, 组合处理技术能够更有效地应对复杂的选矿废水水质, 实现废水的达标排放与循环利用。随着科技的不断进步, 有色金属矿山选矿废水处理技术将朝着高效化、资源化、智能化和绿色环保的方向发展。未来, 矿山企业应加大技术研发与应用投入, 选择适合自身特点的处理技术, 同时加强管理, 确保处理设施的稳定运行, 为实现有色金属行业的绿色发展、建设生态文明社会贡献力量。同时, 政府部门也应加强政策引导与监管, 推动行业技术进步, 促进有色金属矿山选矿废水处理技术的广泛应用与不断创新。

【参考文献】

- [1] 杜云鹏, 李丽娜, 吴文卫, 等. 铅锌选矿废水处理工艺研究进展[J]. 水处理技术, 2024(8).
- [2] 樊小磊, 詹作泰, 高柏, 等. 重金属废水处理技术研究进展[J]. 中国有色冶金, 2023, 52(4): 112-127.
- [3] 魏芳. 有色金属矿山选矿废水处理技术及生产应用[J]. 工程建设(维泽科技), 2024, 7(8): 121-124.
- [4] 邵立南. 我国有色金属行业重金属废水处理技术研究现状和发展趋势[J]. 矿冶, 2025, 34(1): 12-18, 33.
- [5] 李晨. 浅谈有色金属矿山选矿废水处理技术与生产应用[J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2024(003): 000.
- [6] 孙立田, 张凯, 乔继扬. 有色行业重金属废水处理技术研究[J]. 价值工程, 2023, 42(16): 100-104.
- [7] 陈园园, 文金磊. 硫化铅锌矿山选矿废水处理及回用技术进展[J]. 湖南有色金属, 2023, 39(5): 25-28.
- [8] 程伟. 铅锌冶炼废水污酸处理技术研究[J]. 山西冶金, 2023, 46(11): 150-153.

作者简介: 刘勇(1978年4月-2日), 身份证号码: 654322197804024210, 汉族, 男, 籍贯: 安徽, 学历: 大学专科, 职称: 选矿中级工程师, 研究方向: 有色金属矿山选矿废水处理。