

Research Status of the Purification and Reuse Technology of the Waste Water in Mineral Processing and Its Development Prospect

Dagang Dong

The Comprehensive Utilization of Waste Ores in Ma'anping Mine Co. Ltd., Huili Sichuan
Email: dongdagang2004@163.com

Received: May 5th, 2017; accepted: May 21st, 2017; published: May 24th, 2017

Abstract

The waste water produced in minerals processing has a large quantity of emission, which accounts for about 10% of the total emissions of industrial waste water. In addition, due to the excessive suspended solids, heavy metal ions and residual reagents, the waste water can cause a lot of harm whether direct discharged or reused. In this paper, based on the source, characteristics and harm of the waste water in minerals processing, the traditional methods such as natural purification, acid and alkali neutralization, coagulation sedimentation, and chemical oxidation are comprehensively introduced, and the new methods of artificial wetland and microbial adsorption are explored. At last, the advantages and disadvantages of every method are analyzed, and the technology and research direction of waste water in minerals processing are prospected.

Keywords

Waste Water in Minerals Processing, Purification, Reuse

选矿废水净化与回用技术现状与展望

董大刚

马鞍山矿山废石综合利用有限责任公司, 四川 会理
Email: dongdagang2004@163.com

收稿日期: 2017年5月5日; 录用日期: 2017年5月21日; 发布日期: 2017年5月24日

摘要

选矿废水排放量大, 约占全国工业废水总排放量的十分之一; 且其含有大量固体悬浮物、重金属离子与

各种残留的选矿药剂，成分复杂，使得无论是选择直接外排或是回用都会造成不小的危害。本文在简要介绍选矿废水来源、特点以及危害的基础上，综合介绍了近年来广泛应用在选矿废水处理上的自然净化、酸碱中和、混凝沉降、和化学氧化等传统处理方法，以及人工湿地、微生物吸附法等选矿废水的处理新探索。通过对各种处理方法的横向对比，分析各方案的优势与不足，为选矿工作者提供解决实际选矿废水问题的思路，最后对选矿废水技术与研究方向提出展望。

关键词

选矿废水，净化，回用

Copyright © 2017 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. 引言

我国的矿业开发为国家建设发展提供了重要的资源保障，但同时也带来了一系列的环境问题，选矿废水就是其中之一。废水排放量大，而经过处理的部分仅占 4.23%，剩下绝大部分的选矿废水被直接外排[1]。这不仅造成了水资源的浪费，而且外排的未经处理废水中含有残留药剂与不可降解重金属离子，会对周边及下游地区的河流、土壤、农田、湿地产生不可逆的破坏，并通过生物链的积累，最终危害到人类自身的健康安全。因此，无论是从节约水资源还是从环境保护的角度来看，选矿废水的净化与回用技术研究都具有深远意义。

目前，国内矿山行业对于选矿废水的处理，主要有自然净化法、酸碱中和法、混凝沉降法、化学氧化法、人工湿地法和微生物吸附法等；在废水回用方面，则多采用集中回用简单处理的方法。

2. 选矿废水的来源、特点及危害

选矿过程中产生的废水统称为选矿废水，主要来源于破碎、浮选过程以及冲洗废水和设备冷却水等几个方面[2] [3]。选矿废水的普遍特点包括：① pH 不符合排放标准，一般呈强酸性或高碱性。② 固体悬浮物含量高，造成水体浑浊难以自然澄清。③ 残余药剂种类复杂，使得废水的生化需氧量(COD_{Cr})高。④ 不可降解的重金属离子含量超标。因此，在未经处理情况下，无论是选择回用或是外排均会造成恶劣的影响。

一般来讲，选矿废水直接回用会造成浮选指标的恶化。胡立嵩[4]研究发现，随着水中悬浮物含量的增加，经磨矿后合格粒级的产率下降，铜精矿品味下降，回收率上升；硫精矿的品味和回收率均下降。浮选废水中残余的选矿药剂如起泡剂含量过高[5]，会导致废水回用时起泡剂用量波动变大，容易引起泡沫发粘溢槽的现象，从而导致铅精矿产率上升，品味下降，影响浮选指标；而废水中残余的捕收剂在回用过程中[6]容易出现累积造成用量过大，降低浮选选择性，进而恶化浮选指标。废水中不可降解重金属离子的存在会使得回用时造成浮选药剂的大量消耗[7]，或是吸附在矿物表面从而改变矿物表面的可浮性，使得回用后的浮选结果逐步偏离浮选指标。

另一方面选矿废水直接外排则会对环境造成恶劣影响。强酸性或强碱性废水直接外排会增加受纳水体的自净压力，超出其自净能力范围则会对受纳水体中的水生生物造成危害，甚至引起水生生物的死亡[8]。固体悬浮物含量过高的废水会降低水体透明度，对受纳水体中浮游植物的光合作用产生阻碍作用[9]，进一

步造成水体富营养化,破坏生态平衡。残余的选矿药剂随废水排入环境,不仅使得受纳水体浑浊发臭,更由于选矿药剂一般具有毒性,如捕收剂中的硫醇类、磺酸盐类和胺类等具有中等至剧毒的毒性,调整剂如氰化物具有剧毒。常见捕收剂黄药对中枢神经系统具有明显的抑制作用,动物可死于呼吸衰竭[10]。这些残余药剂进入水体,直接危及水生生物,并最终威胁到人类自身。选矿废水中超标的重金属离子,植物根部吸收会影响植物的生长发育,动物摄入时会造成机体代谢紊乱。而人类在食用这些动植物后,因为食物链中的累积会对人体造成严重的损害,日本有名的“痛痛病”就是水体中镉含量严重超标而引发的。

3. 选矿废水处理技术现状与发展

杨晓松[11]对2000~2012年有色金属选矿废水处理技术研究论文的数量进行了统计,针对选矿废水固体悬浮物、重金属离子、残余药剂浓度“三高”的特点,目前常用的传统处理方法包括:自然净化法、酸碱中和法、化学沉淀法、混凝沉降法、吸附法等。近年来一些生态循环概念的废水处理方法也逐渐崭露头角,如人工湿地法、微生物吸附法等。

3.1. 自然净化法

自然净化法作为最经济的废水治理方法之一,被我国选矿厂普遍采用[12]。该方法将尾矿库作为构筑物,废水经管道输送至尾矿库。通过沉淀作用降低固体悬浮物和水体中重金属离子含量,在光照曝晒条件下选矿药剂发生水解、挥发甚至生物降解,从而达到自然净化的目的。

赵玉娥[13]对黄药、黑药和二号油在水体中的降解进行研究,发现它们遵循负指数方程 $C = C_0 e^{-kt}$,不同条件、环境下自净系数 K 不同。三种药剂中黄药的降解系数较高,易于得到自净。研究还发现,浮选药剂在流动的水体中比静置状态降解速度快得多,这有利于尾矿库外排水在河流中的净化。

朱来东[14]采用室内和室外两种方式来进行自然沉降实验,并通过检测废水中残余的黄药和二号油含量来判断自净效果。其实验结果表明,室内沉降一段时间后,黄药和二号油均有不同程度的降低,但仍超标数十倍;有日照条件(室外)沉降同样时间,黄药和二号油的去除率分别达到94.81%和71.43%,明显优于室内沉降效果,但仍超标。

赵永红[15]研究了 pH 与初始药剂浓度对黄药自然降解的影响。在其设置的 $pH = 4.5、7、9.5$ 三个 pH 点的自然沉降实验中,黄药的降解率依次降低,即废水 pH 值越低越有利于黄药的降解。黄药初始浓度设置为 $8.51 \text{ mg/L}、3.74 \text{ mg/L}、0.34 \text{ mg/L}$ 时降解率依次为 $15.0\%、62.6\%、96.6\%$,表明初始浓度对黄药的自然降解有较大影响。在相同降解时间内,初始浓度越高,降解率越低。此外,黄药的降解产物主要有 $CS_2、ROH、S、ROCOS$,这些降解产物仍不能直接排放,需进行进一步处理。

自然净化法在处理药剂组成简单、污染物浓度较低的选矿废水时,具备成本低廉、运行简便的独特优势;但其净化耗时长、效果不彻底、出水水质不稳定的缺点使其在处理大多数选矿废水时无法达到预期处理目标。因此,仍需了解各污染因子的自然沉降规律,合理运用自然沉降法的优势所在,与其他废水处理方法形成串联处理流程,这样就可以实现选矿废水的经济高效处理。

3.2. 酸碱中和法

酸碱中和法是一种传统的废水治理方法,具有操作简便、运行费用较低等优点。其基本原理即是利用选矿废水和中和剂的 H^+ 和 OH^- 相互作用,生成弱解离的水分子;同时合适的碱度条件有利于重金属离子与氢氧根生成难溶解的沉淀,从而消除原选矿废水中的有害离子。

使用酸碱中和法处理选矿废水的首要思路是“以废治废”,即用酸性废水(废渣、废气)和碱性废水互相中和,以最低的成本同时处理多种废水,达到 pH 值正常化。在选厂周围没有适当废料可供使用时,

常用的酸性废水中和剂有石灰、石灰石、白云石、苛性钠、碳酸钠等；常用的碱性废水中和剂有各种无机酸，如硫酸、盐酸、硝酸等。

Feng D 等[16]采用碱性炼铁渣和炼钢渣作为中和剂，对酸性选矿废水进行中和；并利用废渣吸附性来去除废水中的铜、铅等重金属离子。在对南非某金矿酸性废水进行处理试验时取得了成功。

德兴铜矿[17]充分发挥选矿废水“以废治废”的解决思路，将选矿厂产生的碱性废水与采场的酸性废水进行中和处理，不够的部分适当添加中和剂。然后将尾矿库内 $\text{pH} = 7\sim 8$ 的澄清水与清水按 4:1 的比例混合返回选矿系统，结果不仅解决了废水处理问题，还提高了选硫指标。

丁希楼等[18]采用石灰石-石灰乳二段中和法处理遂昌金矿含重金属离子的酸性废水，石灰石消耗量为 3 kg/m^3 ，石灰消耗量为 0.33 kg/m^3 。酸性废水经石灰石一段中和后仅 Zn^{2+} 超标，投加石灰乳后水质已全部达标，可以直接排放或回用。

酸碱中和法是酸性矿山废水处理的常用方法，工艺简单、操作简便；但同时产生的结垢严重，沉淀污泥量大等问题若处理不当容易造成二次污染。因此酸碱中和法在处理某些成分复杂的酸性选矿废水时可作为废水前处理工艺，配合氧化法等其他方法进一步提高处理效果。

3.3. 化学沉淀法

化学沉淀法的基本原理是在待处理废水中加入特定的化学药剂，使之与废水中的有害离子直接发生化学反应，生成难溶于水的沉淀物，然后进行固液分离，从而达到选矿废水中有害离子去除的目的。该方法过程简单、设备投资小、操作方便安全，含汞、铅、铜、锌、硫、氟、砷、氰等有毒化合物的选矿废水常采用化学沉淀法，可以得到有效治理。

王斌喜[19]在处理含氰废水时使用化学沉淀法，加入 FeSO_4 150 mg/L、 FeCl_3 100 mg/L 后，将废水中的 CN^- 浓度由 3.258 mg/L 降至 0.459 mg/L，达到排放要求。

付忠田[20]采用化学沉淀法对葫芦岛锌厂含铬废水进行处理。调节 $\text{pH} = 11$ 时，采用浓度为 5% 的 FeSO_4 作为絮凝剂，浓度 10% 的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 作为沉淀剂时，对含镉浓度为 1200 ml 的实际废水进行处理；出水镉离子浓度平均值为 0.086 mg/L，实现达标排放。

赵永红[21]等通过实验证明黄药与硫酸亚铁反应会生成黄原酸铁沉淀 ($2\text{ROCS}^{2-} + \text{FeSO}_4 \rightarrow \text{Fe}(\text{ROCS}_2)_2 \downarrow + \text{SO}_4^{2-}$)，黄药的去除率随硫酸亚铁添加量增加而增加。徐劲等[22]研究表明，黄药的沉淀剂有铜离子、亚铁离子与镍离子，但黄药与 Fe^{2+} 、 Ni^{2+} 这两种生成的沉淀并不稳定；向含黄药废水中添加这两种离子，整个水样变成亮黄色，且用量越大颜色越深。而使用铜离子能取得很好的效果。

化学沉淀法显著的优势之一就是能够有选择性的去除特定的污染因子，根据实际生产需要来设计添加的药剂。但与此同时也就造成了沉淀剂耗量大、对产生的废浆进行进一步处理，综合成本较高等问题。因此在考虑选择化学沉淀法时需考虑待处理选矿废水的性质，对于组分复杂需要靠化学沉淀法来进行处理的废水，可以先通过自然沉降等方法的预处理来降低待处理废水的污染物浓度，这样能够较低成本地有效达到废水处理目标。

3.4. 混凝沉降法

混凝沉降法具有方法简单、沉淀速度快等优点，能够去除选矿废水中大量的固体悬浮物、部分残余药剂和重金属离子，因此是矿山废水处理应用最为广泛的方法之一。其基本原理是在混凝剂的作用下，通过压缩颗粒表面双电层，降低界面动电位、吸附电中和等电化学过程以及桥联、网捕、吸附等物理化学过程将废水中的悬浮物、胶体脱稳并形成可沉降的大颗粒絮体，再经沉降设备将絮凝后的废水进行固液分离。

张春菊[23]使用聚丙烯酰胺作为混凝剂处理白钨矿选矿废水。在磁预处理时间 1 h，絮凝剂浓度为聚丙烯

烯酰胺 0.2 mg/L 时, 白钨矿选矿废水的上清液的量达 355 ml (试验中, 选用原废水 500 ml)。处理后上清液回用于白钨的浮选试验, 闭路试验获得了品位为 60.95%, 回收率为 68.79% 的白钨精矿, 实现了废水零排放。

胡波[24]以湖南宝山铅锌矿选矿废水为研究对象, 选用 DA-1 为混凝剂, 用量为 60 mg/L。处理后废水中 Pb^{2+} 含量由 6.21 mg/L 降到 1.15 mg/L; COD_{Cr} 值由 210 mg/L 降到 105 mg/L; 固体悬浮物、硫化物都达到污水综合排放标准一级标准。

袁姗姗[25]利用聚硅酸硫酸铝铁(PSAFS)处理多金属选矿废水。PSAFS 中铝硅铁的适宜配比为: $w(\text{SiO}_2) = 2.0\%$, $n(\text{Fe} + \text{Al}): n(\text{Si}) = 2:1$, $n(\text{Fe}):n(\text{Al}) = 1:1$ 。在选矿废水中投加 60.75 mg/L 的 PSAFS 时, 处理后废水浊度为 71 NTU; COD 为 73.6 mg/L; As、Be 和 Pb 残留浓度分别为 33.9、0.2 和 13.2 $\mu\text{g/L}$, 达到国家污水综合排放标准一级标准。

混凝沉降对固体悬浮物含量高的选矿废水有很好的处理效果, 相应地用该方法产生的渣量很大, 处理不当容易造成二次污染。对混凝沉降的研究一方面可以在已有混凝剂的基础上设计针对某种特定污染因子的混凝剂, 即混凝剂的分子结构的改进可以增强废水处理效果; 另一方面可以对常用的混凝剂作用机理做出更加深入的研究, 弄清反应的主要影响因素及规律, 当处理不同性质的选矿废水时能有针对性的选择已有混凝剂及反应条件。

3.5. 吸附法

吸附法作为一种处理重金属废水的方法已经得到广泛利用。根据吸附机理将吸附法分为物理吸附和化学吸附两大类。物理吸附是吸附剂通过分子间作用力吸附重金属, 对溶液 pH 值依赖性较大[26]。常用吸附剂如活性炭、分子筛、沸石等具有较高的比表面积或表面具有大量微孔、空腔、通道等高度发达的空隙结构, 具有高效的吸附效果。化学吸附是通过电子转移或电子对共用形成化学键或生成表面配位化合物等方式产生的吸附。产生化学吸附的吸附剂分子通常含有羟基、氨基、羧基等具有优良的吸附、螯合、交联作用的基团, 能够与废水中的重金属离子进行螯合, 形成具有网状笼形结构的化合物, 有效地吸附重金属离子[27]。

杨震[28]提出并研究了粉煤灰治理废水中的可能性, 充分发挥“以废治废”的污染物处理思路。粉煤灰不仅具有较小的颗粒与较大的比表面积, 其中还含有大量的 Al、Si 等活性点, 研究发现粉煤灰对于含汞的废水处理效果优于常规活性炭吸附, 去除率可达 95% 以上。

肖乐勤[29]等对活性炭纤维(ACF)进行氧化改性, 并采用静态吸附法考察 ACF 对水体中 Pb^{2+} 的吸附。实验结果表明改性前后 ACF 对铅离子的吸附速率均保持较高水平, 吸附平衡时间为 5 min; 改性后饱和吸附量由 32.5 mg/g 上升到 75 mg/g; 当 pH = 5 时, 吸附容量达到峰值。

刘雅琳[30]等用膨润土对模拟含 Pb^{2+} 离子的废水进行了试验研究。膨润土在中性至弱碱性条件下, 30℃ 下震荡 45 min, 处理后 Pb^{2+} 浓度由 50 mg/L 降至 1.5 mg/L 以下, 去除率高于 97%, 有效消除重金属离子的污染。

吸附法能够有效去除重金属离子和有机物, 且不会产生新的污染物, 适合深度处理。但吸附剂存在再生困难, 成本较高等劣势, 在实际选矿废水中不得不考虑成本问题。因此对于吸附法的研究可以从探索新的低成本吸附剂着手, 在“以废治废”理念的指导下对具备吸附潜力的吸附剂进行试验研究, 为吸附法在选矿废水治理的发展探索道路。

3.6. 人工湿地法

人工湿地法由于出水性质稳定、基建和运行费用低、抗冲击负荷强等优势, 成为近年来国内外研究

废水处理热点之一。其基本原理是利用基质、微生物和动植物这个复合生态系统的物理、化学和生物的重重协调作用,通过过滤、吸附、共沉、离子交换、植物吸收和微生物分解来实现对污水的高效净化,同时通过生物地球化学循环供给营养物质和水分,促使植物生长,最终达到污水的资源化与无害化。

阳承圣[31]等利用宽叶香蒲人工湿地净化凡口铅锌矿废水,实验结果证明该工艺可有效净化铅锌矿废水。经人工湿地处理后的水质有了明显改变,固体悬浮物、COD 及一些重金属离子的降解率均达到 90% 以上。

姚运先[32]等通过盆栽实验,研究人工湿地种植野菱白对重金属废水的处理效果。在实验时间(7 天)内酸性重金属废水 pH 值由 2 上升到 7 左右;废水中铁、锰、总镉的浓度由 800 mg/L、524.8 mg/L、40 mg/L 分别下降到 5.0、5.0、1.5 mg/L,达到污水综合排放标准。

吴长淋[33]等认为植物在人工湿地中起着非常重要的作用,藻类植物净化重金属废水的能力主要表现在对重金属的吸附力。褐藻对 Au 的吸收量达 400 mg/g,一定条件下绿藻对 Cu、Pb、La、Cd、Hg 等重金属离子的去除率达 80%~90%。

人工湿地法作为绿色环保的废水处理方式,符合我国可持续发展路线,具有很强发展前景。但其本身也存在着基质易堵塞、占地面积大、受气候等因素干扰大等制约其发展的弊端。如何巧妙的在解决这些弊端的同时建立起仿自然湿地系统、绿色环保地治理选矿废水是人工湿地法发展的重要方向。

3.7. 微生物吸附法

微生物吸附法是一种有效处理重金属离子的方法。其优势在于低浓度下,金属可以被选择性的去除;可对特定金属进行选择性的去除;处理效率高,可有效地回收一些贵金属;投资小,运行费用低等;其可能的作用机理包括表面络合机理、离子交换机理、氧化还原机理以及酶促激励和无机微沉淀机理。

施红[34]研究了有氧生物吸附剂、厌氧生物吸附剂和 SBR 生物吸附剂对重金属离子 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 、 Zn^{2+} 的吸附。研究表明, pH 是影响生物吸附的重要因素:随着 pH 值的升高,生物吸附剂对重金属离子的去除率升高。三种生物吸附剂对铜、锰、锌离子的最佳吸附 pH = 5,对铁离子的最佳吸附 pH = 2.5。在最佳 pH 条件下,吸附能力有强到弱依次是厌氧生物吸附剂、SBR 生物吸附剂、好氧生物吸附剂。

赵晓红[35]等研究了 SRV 菌对 Cu^{2+} 的吸附。初始 Cu^{2+} 浓度为 246.8 mg/L 的废水,在菌废比为 1:1 的条件下,去除率高达 99.12%;李清彪[36]等用黄孢展齿革菌形成的菌丝球处理含 Pb^{2+} 废水,去除率达到 95% 以上。李明春[37]等利用活性和非活性假丝酵母菌对铜、镉、镍的吸附能力进行研究,发现真菌类微生物具有菌丝体粗大、吸附后易于分离、吸附量大等特点,实验结果表明 30 min 时吸附量已达到总吸附量的 90% 以上,吸附效率高。

微生物吸附法是一种环境友好型的废水处理方法。筛选出合适菌种是微生物吸附法的关键所在;该方法有着巨大的发展空间;因此,针对选矿废水的特点,对不同菌种吸附性能进行研究,找到适用于选矿废水的合适吸附剂,是微生物吸附法的发展方向之一。

4. 选矿废水循环利用技术现状

选矿废水经处理后选择循环利用,既能降低处理要求、降低处理成本;又能充分利用废水中可利用的残余的药剂,降低药剂损耗;还能节约大量水资源,实现节能减排,一举多得。目前选矿废水循环利用主要包括集中回用和分质回用两大类[38]。

集中回用的典型代表是尾矿库溢流水的回用。该回用方式充分利用了自然净化的优势,处理成本较低、药剂消耗量小、供水系统的水量平衡也易于调节,管理方便。我国大多数选矿厂的废水循环利用均采用此种方法。白建敏[39]等研究尾矿矿浆澄清水对选钼的影响。实验发现采用尾矿矿浆直接澄清水(矿

浆静置 3 h)选钼,粗精矿产率大、回收率高,但钼品味下降一半,含硫量几乎是静置 72 h 含硫量的 2 倍。实验还发现对直接澄清水充气搅拌可明显降低浓缩水中残余药剂的含量;采用尾矿矿浆澄清水与回水按 1:2 配比可用于生产作业。集中回用除了尾矿库自然净化溢流回用,还有集中处理后回用。周强[40]等采用未经处理尾矿回水和处理后的尾矿回水进行某硫化铜钼矿的选矿实验。实验证明未经处理回水使钼精矿品味和回收率均有下降,且回水中残留的大量硫化钠对铜矿物产生抑制作用,无法得到合格铜精矿;采用聚丙烯酰胺处理后的回水使钼精矿品味有所下降,铜精矿的品味和回收率稍有提高;而经水处理剂 KMG 处理过的尾矿回水,钼、铜精矿的指标比聚丙烯酰胺处理后的效果更好,与采用清水选款时指标相近。史宇驰[41]等采用生物制剂协同氧化技术对选矿废水进行处理。实验证明选矿废水经过生物制剂协同氧化技术处理之后, COD_{Cr} 值由 110 mg/L 降低至 30 mg/L,相应残余浮选药剂含量大幅降低,且处理后废水回用的 Mo、Bi、WO₃、CaF₂ 的回用率均与之前大体接近,说明处理后废水可用于浮选过程。

分质回用则是根据选矿废水的水质特征和分布状况,将选矿过程中的部分废水优先回用,而剩余部分集中后再送至尾矿库处理。由于选矿过程的各个阶段对水质有不同的要求,分阶段分质回用可以最大程度的降低回水对选矿指标的影响,甚至可以同时减少药剂的耗量。李海令[42]等采用选铅和选锌废水分别回用的办法对内蒙古获各琦铅锌选矿厂进行试验处理,废水回用结果表明,该方案最大程度利用现有水资源,用最便捷和最低廉的成本实现了水资源的综合利用,而且保证了选矿的生产技术指标,实现了企业的规模化生产。孙水裕[43]等对南京栖霞山锌阳矿业有限公司选矿废水的处理与回用进行了研究,将部分选矿废水优先直接回用于选硫作业,硫的回收率由 91.7% 提高到 96.4%,选硫捕收剂由 370 g/t 降为 310 g/t,实现了经济高效处理;再将部分锌尾矿水优先直接回用于选锌作业和精矿冲矿,不仅节约了选锌药剂成本,还将锌的回收率由 90.7% 提升到了 91.9%;最后将剩余选矿废水适度处理后回用,达到选矿指标要求。张晓春[44]对邵通市铅锌矿选矿废水进行处理设计,将铅精矿废水和锌精矿废水大部分不经处理直接回用于生产,其余部分废水处理回用。处理后的废水回用量为 10,100 m³/d,每年可节约新水 333.30 万 m³,合计 211.37 万元,经济效益显著。

5. 结语与展望

近年来我国的有色金属选矿废水处理的相关研究处于稳定增长阶段,传统处理工艺的革新改进与废水处理的新思路齐头并进。选矿废水是一个复杂的混合体系,在今后的研究工作中需要我们从以下几个方面着手:

(1) 应加强对选矿废水的水质特性分析研究。实际的选矿废水处理过程中往往是重点关注与外排指标或对回用产生重要影响的几个关键污染因子的去除,未对待处理废水中重金属离子和残余药剂的物化特性、存在形态、分布特征进行详细了解;应对反应过程中添加的水处理剂与污染因子的变化进行探索,利用数学建模和软件分析等手段开展更加深入的分析研究。

(2) 根据待处理选矿废水的突出性质,有针对性的选择治理方法。如高固体悬浮物的选矿废水可以采用混凝沉降法进行处理,取得较好效果。当选用单一处理方法不能达到预期目的时,应该考虑多种处理方法的联立使用,实现各方案的优势互补,优化工艺流程,提高处理效率和效果。

(3) 将选矿废水的处理由末端集中治理向适度处理—分质回用集成方向发展。选矿废水的分阶段回用与处理是减少废水处理量、药剂损耗,同时获得较好处理效果的有效处理手段;对于选矿工艺复杂、各阶段废水性质差异较大的选矿废水处理,该处理思路具有很强的适应性。

(4) 在进行选矿废水的处理时综合考虑选矿工艺的设计和改造。如分质回用时残余有用药剂的存在,可以相应调整药剂制度;在设计选矿工艺流程时,可以将选矿废水处理后回用部分纳入到设计范围,实现选矿废水的节能减排,有效利用。

(5) 对已有的处理药剂和处理方法可以进行更加系统的研究。根据特定性质的选矿废水可以找到有针对性的治理方法, 通过深入研究已有药剂和方法的作用机理, 探索出在不同条件下的处理效果的规律, 由特殊到一般, 总结出处理一类废水的步骤。可以给予后来的选矿废水处理工作者很大的帮助, 避免重复工作, 将精力集中在更多节能环保的处理方法上。

参考文献 (References)

- [1] 张帆, 李晔, 张一敏. 混凝沉淀法处理蓝晶石选矿废水的实验研究[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(1): 159-162.
- [2] 杨晓松, 邵立南. 选矿废水处理的研究现状和发展趋势[J]. 世界有色金属, 2013(10): 20-22.
- [3] 孔令强. 蒙自铅锌硫化矿选矿废水的净化处理与资源化利用研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2011: 5-6.
- [4] 胡立嵩, 罗廉明. 选矿废水中悬浮物对磨矿和浮选影响的研究[J]. 云南冶金, 2005, 34(3): 17-19.
- [5] 袁增伟, 孙水裕, 赵永斌, 戴文灿, 刘如意. 选矿废水净化处理及回用试验研究[J]. 水处理技术, 2002, 28(4): 232-234.
- [6] 张胜东, 童雄, 谢贤, 黎继永, 杨子轩. 我国选矿废水回用处理方法研究进展[J]. 矿产保护与利用, 2016, (3): 66-72.
- [7] 孔令强. 蒙自铅锌硫化矿选矿废水的净化处理与资源化利用研究[D]. 长沙: 中南大学, 2011: 5-6.
- [8] 崔振红. 矿山酸性废水治理的研究现状及发展趋势[J]. 现代矿业, 2009, 10(10): 26-28.
- [9] 乐成峰, 李云梅, 查勇. 太湖悬浮物对水体生态环境的影响及其高光谱反演[J]. 环境科学学报, 2008, 28(10): 2148-2155.
- [10] 翁建浩, 王睿, 黄道玉. 选矿废水中残余黄药降解规律的试验研究[J]. 化工矿物与加工, 2001, 30(5): 18-21.
- [11] 杨晓松, 邵立南. 选矿废水处理的研究现状和发展趋势[J]. 世界有色金属, 2013(10): 20-22.
- [12] 冯章标, 何发钰, 邱廷省. 选矿废水治理与循环利用技术现状及展望[J]. 金属矿山, 2016, 45(7): 71-77.
- [13] 赵玉娥. 黄药、黑药、二号油在水体中的降解试验研究[J]. 黄金, 1995(7): 47-51.
- [14] 朱来东. 某银铅锌多金属矿尾矿废水自然净化试验研究[J]. 甘肃冶金, 2007, 29(4): 89-91.
- [15] 赵永红, 成先熊, 谢明辉, 罗仙平. 选矿废水中黄药自然降解特性的研究[J]. 矿业安全与环保, 2006, 33(6): 33-34.
- [16] Feng, D., Van Deventer, J.S.J. and Aldrich, C. (2004) Removal of Pollutants from Acid Mine Wastewater Using Metallurgical by Product Slags. *Separation and Purification Technology*, **40**, 61-67. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2004.01.003>
- [17] 吴飞. 德兴铜矿矿山废水现状和发展前景[J]. 铜业工程, 2000(1): 27-29.
- [18] 丁希楼, 丁春生. 石灰石-石灰乳二段中和法处理矿山酸性废水[J]. 能源环境保护, 2004, 18(2): 27-29.
- [19] 王斌喜. 凝聚沉淀法处理焦化废水中氰化物试验研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2000.
- [20] 付忠田, 黄戌生, 郑琳子. 化学沉淀法处理葫芦岛锌厂含镉废水的研究[J]. 环境保护与循环经济, 2010, 30(10): 44-46.
- [21] 赵永红, 谢明辉, 罗仙平. 去除水中黄药的试验研究[J]. 金属矿山, 2006(6): 75-77.
- [22] 徐劲. 有机浮选药剂物化净化特性研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 广东工业大学, 2005: 4-5.
- [23] 张春菊. 白钨选矿废水零排放技术研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 江西理工大学, 2009: 11-12.
- [24] 胡波. 复杂多金属硫化矿选矿废水处理与回用工艺研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南农业大学, 2012: 6-7.
- [25] 袁姗姗. 混凝沉淀法处理多金属矿选矿废水研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2013: 5-6.
- [26] Guo, Y.P., Qi, J.R., Yang, S.F., et al. (2003) Absorption of Cr(VI) on Micro- and Mesoporous Rice Husk-Based Active Carbon. *Materials Chemistry and Physics*, **78**, 132-137. [https://doi.org/10.1016/S0254-0584\(02\)00302-4](https://doi.org/10.1016/S0254-0584(02)00302-4)
- [27] 张帆, 李菁, 谭建华, 王波, 黄福. 吸附法处理重金属废水的研究进展[J]. 化工进展, 2013, 32(11): 2749-2756.
- [28] 杨震. 粉煤灰在废水处理中的应用[J]. 科学创新导报, 2012(32): 043.
- [29] 肖乐勤. 活性炭纤维的氧化改性及其对铅离子吸附研究[J]. 水处理技术, 2011, 37(3): 37-40.

- [30] 刘雅琳, 羊依金. 用膨润土处理含铅离子废水的研究[J]. 成都信息工程学院学报, 2007, 22(z1): 23-27.
- [31] 阳承胜, 蓝崇钰, 束文圣. 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, 2000, 17(2): 51-56.
- [32] 姚运先. 人工湿地野茭白对酸性重金属废水的处理效能研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(23): 12661-12662.
- [33] 吴长淋. 人工湿地处理含重金属废水的研究现状及展望[J]. 化学工程师, 2009, 23(3): 38-41.
- [34] 施红. 生物吸附法处理废水中重金属离子的研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 河海大学, 2006: 6.
- [35] 赵晓红. 高效菌活性污泥法处理分散染料废水实验研究[J]. 环境工程, 2002, 20(1): 77-81.
- [36] 李清彪, 刘刚, 胡月琳, 邓旭, 吴元菲. 黄孢展齿革菌对镉离子的吸附[J]. 离子交换与吸附, 2001, 17(6): 501-506.
- [37] 李明春, 姜恒, 候文强, 等. 酵母菌对重金属离子吸附的研究[J]. 菌物系统, 1998, 17(4): 367-373.
- [38] 陈伟, 彭新平, 陈代雄. 某铅锌矿选矿废水处理复用与零排放试验研究[J]. 环境工程, 2011, 29(3): 37-39.
- [39] 白建敏, 张美鸽. 尾矿澄清水对选铝影响试验及水处理研究[J]. 中国矿山工程, 2015, 44(4): 38-41.
- [40] 周强, 戈保梁, 聂琪. 某硫化铜钼选厂尾矿回水利用研究[J]. 矿业工程, 2010, 30(3): 40-42.
- [41] 史宇驰, 邹勤, 陶镇, 邓海波, 胡家欢. 湖南某多金属矿选矿废水处理回用试验研究[J]. 中国钨业, 2015, 30(5): 34-37.
- [42] 李海令, 付鑫. 内蒙古获各琦铅锌选厂废水利用[J]. 有色金属, 2009(1): 20-22.
- [43] 孙水裕, 缪建成. 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): 7-8.
- [44] 张晓春. 铅锌选厂废水净化回用研究[J]. 云南冶金. 2012, 41(4): 78-81.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

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

期刊邮箱: me@hanspub.org