

我国选矿废水处理研究进展

张作金¹, 陈海彬^{1,2}, 吴天来¹, 周振华¹, 刘忠信²

1. 承德宝通矿业有限公司, 河北 承德 067000;
2. 华夏建龙矿业科技有限公司, 北京 100079

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2020)01-0079-06
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2020.01.012

摘要 选矿过程中产生的废水不仅对矿区周边的环境影响较大, 选矿废水中含有的选矿药剂及重金属离子, 在选矿回水重复利用时对精矿质量也有一定的影响。通过总结相关的文献分析了选矿废水对环境及选矿流程的影响, 概述了混凝沉淀法、吸附法、化学氧化法、化学沉淀法以及微生物处理法原理及其优缺点, 介绍了近年来实验室处理选矿废水的新方法。未来选矿废水处理的发展趋势为逐渐采用多种处理方法联合作业代替单一的处理方式, 同时逐渐采用环保型低成本的处理方法。

关键词 选矿废水; 混凝沉降; 化学氧化

1 选矿废水中污染物的危害性分析

在磁选、重选和浮选等选矿过程中都会产生选矿废水。处理不同矿石产生的选矿废水中含有的污染物也不尽相同, 在矿石磁选过程中废水中的污染物主要为悬浮物; 在浮选过程中废水中的污染物为选矿药剂及重金属离子等。未经处理的选矿废水不仅污染矿区周边的环境, 同时在回水利用时也会影响精矿质量。

1.1 对环境的危害

选矿废水对矿区周边环境影响较大。选矿废水有时呈强酸性或者强碱性, 在进入到河流中后改变河流的水质, 严重者导致河流中的生物死亡。选矿废水中含有的重金属元素被动植物吸收后不仅危害动植物的健康, 同时重金属元素随着食物链进入到人体中, 对人体健康产生潜在的危害。浮选废水残留有浮选药剂, 以黄药为例, 黄药在酸性条件下可以自然分解为 CS_2 , 对环境有较大危害^[1]。王道秀^[2]在研究磷矿选矿废水对环境的危害时发现, 如果磷矿选矿废水直接排放可能会导致水体的 pH 值升高, 抑制水中微

生物的生长和发育; 磷矿选矿废水含有的磷元素也会导致水体富营养化。为了减轻和消除选矿废水对周围环境的影响, 处理选矿废水刻不容缓。

1.2 对选矿流程的影响

选矿废水通过其中含有的选矿药剂、悬浮物以及金属离子等方式会对选矿流程产生负面影响^[3-4]。

1.2.1 浮选药剂的影响

选矿废水中含有的选矿药剂如起泡剂, 在回水利用中, 容易出现起泡剂含量过高, 泡沫发黏, 发生跑槽现象, 从而难以维持正常稳定的生产。随着选矿回水中捕收剂的逐渐积累, 捕收剂量过多虽然在一定程度上增加了精矿的回收率, 但会降低精矿品位。谷艳玲等^[5]人研究选矿废水对硫化铜矿浮选的影响时发现, 浮选用水的回水率越高, 精矿中夹杂的脉石矿物越严重, 其原因是回水中含有起泡剂和捕收剂, 增加了精矿的产率, 降低了精矿质量。

1.2.2 悬浮物的影响

选矿废水中含有过量的悬浮物时会导致矿浆变

黏稠,同时悬浮物附着在矿粒表面上,阻碍矿粒与浮选药剂之间的相互作用,降低矿物的可浮性,降低精矿品位。胡立嵩等^[6-7]人在研究选矿废水中的悬浮物对于铜矿浮选影响时发现,随着浮选用水中悬浮物含量增大,铜精矿品位降低,回收率逐渐增加;硫精矿品位和回收率均呈下降趋势。黄春成等^[8]研究选矿废水中的悬浮物对铝土矿浮选影响时发现,随着选矿用水中悬浮物含量的增加,浮选药剂用量也要增加,精矿泡沫黏性增大,精矿回收率降低。

1.2.3 金属离子的影响

选矿废水中含有的金属离子主要来源于选矿药剂中的金属离子,以及在矿石磨矿过程中发生氧化或溶解而产生的金属离子。这些金属离子可以通过水解反应改变矿浆的pH值,进而影响浮选效果。有的金属离子可与浮选药剂反应而消耗药剂,有的金属离子与浮选药剂结合后形成沉淀,覆盖在矿粒表面上,阻碍捕收剂与矿物之间的相互作用。郝悦等^[9]人在研究溶液中的 Ca^{2+} 对菱镁矿浮选行为的影响时发现,在油酸钠浮选体系下, Ca^{2+} 在矿浆 $7 \leq \text{pH} \leq 12$ 情况下对菱镁矿浮选具有较强的抑制作用, Ca^{2+} 对菱镁矿的浮选具有抑制作用。赵永红等^[10]人在研究利用亚铁沉淀法去除选矿废水中的黄药试验时发现,随着亚铁离子用量的增加,废水中黄药的含量逐渐降低,由此说明在以黄药作为捕收剂的浮选体系中,亚铁离子的存在会降低浮选效率。

2 选矿废水处理研究现状及发展趋势

2.1 选矿废水处理研究现状

目前选矿废水的处理方法主要有混凝沉淀法、吸附法、化学氧化法、化学沉淀法以及微生物处理法等^[11-13]。

2.1.1 混凝沉淀法

混凝沉淀法主要是利用在絮凝剂的作用下去除选矿废水中的悬浮物和重金属离子,同时也可以去除选矿废水中的部分COD。目前常用的混凝剂包括硫酸铝、聚丙烯酰胺和聚合氯化铝等^[14]。

屈佳等^[15]人利用聚丙烯酰胺及淀粉为原料,在硝酸铈铵的作用下将二者合成新的物质——丙烯酰胺接枝淀粉絮凝剂,在常温条件下经过该絮凝剂处理过的陕西省丹凤县某铜矿附近河水中铜离子浓度达到国家三级排放标准,COD_{Cr}质量浓度达到国家规定的

矿山企业废水一级排放标准。董艳红等^[16]以聚丙烯酰胺和聚合氯化铝为原料合成复合絮凝剂XS-1,处理西藏某氧化铜选矿闭路试验得到的选矿废水,试验结果表明,复合絮凝剂XS-1对氧化铜选矿废水沉降最好,沉降速度最快,沉降处理后的废水,固体悬浮物含量大幅降低。邱小敏等^[17]利用聚合氯化铝替代硫酸铝作废水絮凝剂处理马坑铁矿废水,工业试验发现,在采用相同质量的聚合氯化铝作为絮凝剂处理后的废水中悬浮物量较低,且成本也较低。

混凝沉淀法的优点在于实际操作简单,沉降速度快,但是其缺点为混凝剂用量较大,容易形成二次污染,且混凝沉淀法不适合处理污染较轻的选矿废水。

2.1.2 吸附法

吸附法是利用吸附剂去除选矿废水中的重金属离子及有机药剂,根据吸附原理可以分为物理吸附和化学吸附,研究较多的吸附剂有膨润土、沸石和活性炭等^[18-19]。

陆铠镔等^[20]在研究用经改性的上林沸石处理某选矿废水中的重金属离子时发现,改性可提高对废水中的重金属铜离子及锌离子的去除能力,吸附时间超过5h时对铜离子及锌离子吸附逐渐达到平衡,沸石吸附容量达4mg/g。韩朗等^[21]人对蒙脱石进行改性,即用稀溶液法将聚合阳离子 Zr^{4+} 柱撑进入提纯钠基蒙脱石(Na-mt)层间,合成柱撑蒙脱石,然后用浸渍法制备活性炭负载柱撑蒙脱石,再用它处理含有丁基黄药的废水。试验结果表明,这种改性后的蒙脱石对丁基黄药的吸附量从19.38mg/g增加至72.09mg/g,在合适的条件下对选矿废水中丁基黄药的去除率达到99.72%。王恩文等^[22]人利用辽宁省建平县的改性层状黏土及黑龙江鸡西的层状炭质矿物制备复合吸附材料基体,再经焙烧得到新型吸附剂LMAM。用这种吸附剂处理石英纯化废水中的氟离子。试验结果表明,作用90min后对废水中氟离子的去除率达到了96.7%。刘相廷等^[23]用膨润土为原料制备膨润土纳米片基水凝胶处理某含有重金属铅离子的废水。试验结果表明,膨润土纳米片基水凝胶对铅离子的吸附效果较好,且吸附过程符合二级动力学吸附方程。

相关的研究表明吸附法处理选矿废水具有成本低和效果好的优点,近年来对于吸附法的研究也较多,但是由于吸附剂难以重复利用这一缺点而阻碍了吸附法的广泛应用。

2.1.3 化学氧化法

研究较多的化学氧化法包括 O_3 氧化法、Fenton 氧化法和光催化降解法。

章丽萍等^[24]用 O_3 处理选矿废水中的捕收剂水杨羟肟酸时发现, O_3 对水杨羟肟酸具有较好的处理效果, 经过 15 min 处理后废水中水杨羟肟酸的去除率即可达到 93.94%。紫外及红外光谱等检测技术发现, 经 O_3 氧化处理后的水杨羟肟酸分解为小分子有机酸、二氧化碳和水。杨状等^[25]人采用光催化降解法处理选矿废水中的异丁基钠黄药时发现, 新制备的新型材料氧化锌纳米线阵列对废水中异丁基钠黄药的去除效果显著, 光催化降解反应为 60 min 时, 废水中异丁基钠黄药的去除率超过 90%, 不仅如此, 氧化锌纳米线阵列可以循环利用。Cui 等^[26]人利用 $(BiO)_2CO_3$ 纳米线处理浓度为 10 g/L 的异丙基黄药, 在催化剂用量为 1 g/L、光照为 250 W 高压汞灯和光照 90 min 的试验条件下, 废水中异丙基黄药降解率即可达到 95%。Fenton 氧化法主要是用于氧化选矿废水中难以降解的有机污染物。顾泽平等^[27]人采用 Fenton 氧化法处理含有胺类捕收剂的废水时发现, 在 Fe^{2+} 浓度为 1.83 g/L 和 H_2O_2 浓度为 5.55 g/L 的条件下降解 2 h, 可以使废水中苯胺黑药的 COD 去除率达到 80%。相关研究表明, 过硫酸盐对浮选有机药剂具有一定的降解效果^[28], Chen 等^[29]人利用过硫酸盐降解含有乙硫氨酸的选矿废水时发现, 在黄铁矿的活化作用下降解乙硫氨酸效果较好, 同时在酸性介质中乙硫氨酸降解效率最佳。

化学氧化法处理选矿废水具有处理效果好和处理周期短等优势, 且可供选择的化学氧化药剂种类也较多。但因化学药剂的用量较大导致其成本较高。

2.1.4 化学沉淀法

化学沉淀法可除去选矿废水中的多种重金属离子, 向选矿废水中加入合适的沉淀剂, 与其中的重金属离子发生化学反应形成沉淀物。目前研究较多的沉淀方法包括中和沉淀法和硫化沉淀法。

中和沉淀法常用于处理酸性废水, 利用氢氧根离子与金属离子作用下形成沉淀。张诚^[30]等采用中和法, 以电石乳作为中和药剂处理含重金属离子的铜矿废水。其试验结果表明, 当电石乳浓度为 12 g/L 时, 水中 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 以及 Mg^{2+} 离子的剩余浓度检测不出来。

硫化沉淀法是指在向选矿废水中加入硫化剂后, 与选矿废水中的重金属离子以硫化物的形式沉淀的方法, 常用的硫化剂包括硫化氢、硫化钠以及硫代硫酸钠等^[31-32]。谢光炎等^[33]采用硫化沉淀法处理某选矿厂含有铜离子及铅离子的酸性废水。试验结果表明, 硫化沉淀法对选矿废水中的 Cu^{2+} 和 Pb^{2+} 有较高的去除率。

选矿废水经过化学沉淀法处理后可以高效获得质量合格的选矿回水, 但该方法需要增加固液分离工艺, 进一步增加了选矿废水的处理成本。

2.1.5 微生物处理法

微生物处理选矿废水的机理主要为微生物中含有大量的基因如羟基、羧基和氨基等, 在水中可以与重金属离子络合; 同时部分的微生物也具有氧化作用, 可以降解水中的 COD, 不仅如此, 微生物还具有一定的絮凝作用, 使得水中的杂质与水分离。尹业兴等^[34]用产碱杆菌 (*Alcaligenes sp.*) DN25 处理金矿选矿废水和矿渣浸出液中的氰。其试验结果表明, 在处理时间 23 h 后选矿废水中总氰的含量符合国家水质要求相关标准。闫虎祥等^[35]在处理云南某铅锌矿选矿废水时将原有的絮凝处理法改变为生物处理法, 使得选矿废水中的铅离子和锌离子的去除率均超过 99%, 处理效果较好。卢致明等^[36]在用生物处理法处理某矿山选矿废水时发现, 生物处理法对选矿废水中砷的去除效果较好, 且该方法具有工艺简单和操作方便等优点。

微生物处理选矿废水具有成本低、处理效果好、工艺较为简单及不会造成二次环境污染等优点。但是微生物处理选矿废水需要特定的微生物, 在处理的前期需要对微生物选育和驯化, 且微生物处理选矿废水的周期较长。

2.1.6 其他方法

此外, 选矿废水处理方法还包括有反渗透法、高压电解法和生物膜法等, 但是这些方法研究的较少, 且多处于试验室试验阶段, 在实际中应用较少。

史连军等^[37]采用反渗透法分离选矿废水中的氯离子, 试验中发现反渗透法可富集选矿废水中的氯离子, 然后加入可生成氯磷酸钙的沉淀剂即可除去氯离子。陈潇影等^[38]采用生物膜法处理磷矿浮选废水时发现, 在生物膜的作用下可以将废水中的 COD 从 500~1 200 降低到 100 以下, BOD 的去除率超过 96%。董冰岩等^[39]在研究高压脉冲放电降解选矿废

水中残余黄药时发现,选矿废水经过电解处理 40 min 后,乙基黄药降解率达到 100%,丁基黄药降解率可达 62.47%,2 种黄药矿化率分别为 15.1% 与 56.1%。长沙有色冶金设计研究院^[40]采用电解法处理含有水玻璃的选矿废水,该方法可使废水中水玻璃的去除率达到 94.5% 以上。尽管该方法处理含有有机杂质的选矿废水效果较好,但是该方法的处理成本高,不易操作和控制。

尽管近年来也发明了一些新的选矿废水处理方法,但是存在一定的局限性,如处理成本高、操作复杂及对不同类型的选矿废水适应性差等缺点,使得这些新方法多处于试验室试验阶段,难以推广应用。

2.2 选矿废水处理工艺发展趋势

近年来选矿废水的处理工艺逐渐的由单一的处理方法转变为多种处理方法联合作业的方式,进一步提高了选矿废水的处理效果。

2.2.1 多种方法联合处理工艺

姜智超等^[41]在处理湖南省某钨铋矿和萤石的选矿废水时采用自制的氧化药剂 ME22,絮凝剂采用聚丙烯酰胺,利用氧化-絮凝的废水处理工艺处理后使得废水中 COD 的含量从 196 mg/L 降至 59.0 mg/L,选矿废水中 COD 的去除率达到 69.8%,经过处理后的水质满足国家相关排放标准。张雅潇^[42]在处理含有锌、铜和铅等离子的选矿废水时利用中和-混凝沉淀联合处理方法,经过处理后的选矿废水中锌、铜和铅等离子的含量有效降低,试验结果表明,该法具有处理工艺简单和效率高等优势。夏艳圆等^[43]利用絮凝沉降-臭氧氧化法处理安徽某铜矿选矿厂废水时,试验结果表明,聚丙烯酰胺对选矿废水中的重金属离子处理效果较好,而臭氧氧化法处理选矿废水中的捕收剂丁基黄药效果较好,经过该联合工艺处理后的选矿废水可以在选矿中重复利用,实现水资源的高效利用。冯章标^[44]在处理含有金属离子及苯甲羟肟酸废水时采用石灰+聚丙烯酰胺优先处理金属离子,再采用电氧化法继续处理,有效降低废水中苯甲羟肟酸的含量,经过处理后的水回用时对精矿指标无影响。胡波等^[45]在处理某复杂金属硫化矿选矿废水时,采用酸碱中和-混凝沉淀-吸附-氧化工艺,经过该工艺处理过的选矿废水达到污水一级排放标准。

综上所述,单一的处理方法具有处理工艺简单的优势但局限性较大,根据选矿废水中含有的杂质选择性地多种处理方法联合可以有效地提高选矿废水

处理效果。

2.2.2 选矿废水处理法在环保中的应用

随着绿色矿山的建设和发展,矿山行业不断的探索环保型处理选矿废水的工艺。陈益成^[46]在处理某煤矿废水时采用预沉调节池+多级旋流絮凝反应斜管沉淀池+重力无阀滤池的联合处理工艺,使得经过处理后的水质达到国家相关排放标准。该工艺采用絮凝作用+物理方法自然过滤,在降低成本的同时避免了对环境产生二次危害。

杨建文^[47]在处理广西盘龙铅锌矿选矿废水时采用混凝沉淀-调整 pH 值至中性-氧化工艺,经过该工艺处理后的选矿废水中的重金属离子及总溶解固体等含量降低至国家相关排放标准以下。该工艺的优点为调整废水的 pH 值,避免碱性废水对矿区环境产生危害,同时采用絮凝沉降的方法,具有处理效果好、无污染的优点。使用该方法处理后的选矿废水不仅可以安全排放,在回水重复利用时对选矿指标无影响。

近年来有相关的企业将人工湿地法应用于选矿废水的处理上,人工湿地法处理选矿废水的作用原理是通过微生物、动植物和自然修复能力的共同作用。某企业利用芦苇和香蒲等植物对选矿废水进行净化,经过一段时间的作用后对废水中杂质砷的去除率约为 50%,COD 的降解率超过 90%^[48]。采用人工湿地处理选矿废水实现了零化学药剂的应用,绿色环保。

3 结论

选矿废水不仅对环境危害较大,同时在选矿回水利用时影响精矿质量,因此对于选矿废水的处理势在必行。目前我国对选矿废水的研究也较多,不同的处理方法均有研究,但是实际利用到工业上的较少。未来的选矿废水处理研究方向应该集中于以下三点:

(1) 不断地开发新型高效环保型选矿废水处理药剂如混凝剂、氧化剂以及吸附剂等,进一步降低选矿废水的处理成本。

(2) 随着选矿废水处理方法的不断深入研究,多种处理方法联合工艺在处理效果上更好,应该逐渐加强多种处理方法联合工艺的研究,提高选矿废水的处理效率。

(3) 不断将试验室的研究成果向实践转化,以试验室试验指导实际生产,提高科研成果转化率,真正实现选矿废水的高效处理。

参考文献:

- [1] 刘琳. 金属选矿废水处理技术的研究现状与发展[J]. 科技视界, 2014(11):302-303,311.
- [2] 王道秀. 磷矿选矿废水深度处理以及废水对环境的危害研究[J]. 企业技术开发, 2018, 37(10):82-83, 99.
- [3] 曾怀远. 选铜废水循环利用对选铜指标的影响研究[D]. 赣州:江西理工大学, 2016.
- [4] 李洪帅, 刘殿文, 宋凯伟, 等. 选矿废水对浮选的影响[J]. 矿冶, 2012, 21(2):94-96, 103.
- [5] 谷艳玲, 冯其明, 欧乐明. 起泡剂对硫化矿浮选的影响[J]. 矿冶工程, 2013, 33(4):52-55.
- [6] 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(3):17-19.
- [7] 胡立嵩, 罗廉明. 水质对大冶铁选矿厂浮选指标的影响[J]. 有色金属(选矿部分), 2004(3):29-33, 39.
- [8] 黄春成, 宋江红. 水质对铝土矿浮选指标的影响[J]. 世界有色金属, 2007(1):13-15.
- [9] 郗悦, 代淑娟, 张作金. Ca^{2+} 对菱铁矿浮选行为的影响[J]. 金属矿山, 2019(9):98-101.
- [10] 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.
- [11] 方青. 锑矿采选废水生产现状及治理措施[J]. 环境与发展, 2019, 31(9):56, 58.
- [12] 林小凤, 傅平丰, 邹凤羽, 等. 高级氧化技术降解有机选矿药剂的研究进展[J]. 金属矿山, 2019(9):1-7.
- [13] 曾小星, 徐薇. 选矿废水处理回用技术研究[J]. 科技经济导刊, 2019, 27(26):124.
- [14] 朱静平, 王中琪. 污水处理工程试验[M]. 成都:西南交通大学出版社, 2010.
- [15] 屈佳, 樊雪梅, 王毅梦, 等. 丙烯酰胺接枝淀粉在选矿废水絮凝处理中的应用[J]. 工业用水与废水, 2017, 48(2):43-46.
- [16] 董艳红, 陈代雄, 周玉才, 等. 复合絮凝剂在氧化铜选矿废水回用中的应用[J]. 矿产综合利用, 2017(1):85-88.
- [17] 邱小敏, 陈增民. 聚合氯化铝替代硫酸铝作废水絮凝剂工业试验[J]. 低碳世界, 2018(8):27-28.
- [18] 张帆, 李菁, 谭建华, 等. 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.
- [19] 李媛媛, 刘文华, 陈福强, 等. 巯基化改性膨润土对重金属的吸附性能[J]. 环境工程学报, 2013, 7(8):3013-3018.
- [20] 陆铠镜, 谭天宋, 韦有杰, 等. 改性上林沸石吸附选矿废水的研究[J]. 山东化工, 2018, 47(16):194-196.
- [21] 韩朗, 庾必阳. 活性炭负载铅柱撑蒙脱石对丁基黄药的吸附性能[J]. 金属矿山, 2017(3):172-177.
- [22] 王恩文, 郭振华, 雷绍民, 等. 高氟选矿废水的吸附净化技术研究[J]. 矿业研究与开发, 2015, 35(10):71-74.
- [23] 刘相廷, 李俊峰, 李培雅, 等. 膨润土纳米片水凝胶的制备及其吸附性能研究[J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(4):144-150, 158.
- [24] 章丽萍, 项俊, 严振宇, 等. O_3 降解水杨羟肟酸选矿废水机理研究[J]. 矿业科学学报, 2019, 4(1):79-85.
- [25] 杨状, 高星星, 姜效军, 等. 氧化锌纳米线阵列光催化降解异丁基钨黄药[J]. 金属矿山, 2017(3):167-171.
- [26] Cui K, He Y, Jin S. Enhanced UV-visible response of bismuth sub-carbonate nanowires for degradation of xanthate and photocatalytic reaction mechanism[J]. Chemosphere, 2016, 149:245-253.
- [27] 顾泽平. 含苯胺黑药废水的物化净化特性研究[D]. 广州:广东工业大学, 2006.
- [28] Zhang Y, Tran H P, Du X, et al. Efficient pyrite activating persulfate process for degradation of p-chloroaniline in aqueous systems: A mechanistic study[J]. Chemical Engineering Journal, 2017, 308:1112-1119.
- [29] Chen S, Xiong P, Zhan W, et al. Degradation of ethylthionocarbamate by pyrite-activated persulfate[J]. Minerals Engineering, 2018, 122:38-43.
- [30] 张诚, 柳建设, 付瑾, 等. 铜矿矿山水的物化净化处理研究[J]. 矿业工程, 2011, 18(2):73-75.
- [31] 钟斌, 曾清全. 硫化沉淀法回收镍液中的镍[J]. 有色金属科学与工程, 2015, 6(2):53-56.
- [32] 黄万抚, 王淑君. 硫化沉淀法处理矿山酸性废水研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2004, 5(8):60-63.
- [33] 谢光炎, 戴文灿, 孙水裕. 硫化沉淀浮选法处理矿山井下废水研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2003, 25(2):41-43.
- [34] 尹业兴, 李青云, 刘幽燕. 产碱杆菌 DN25 去除金矿废水中的氰[J]. 化工环保, 2017, 37(1):49-54.
- [35] 闫虎祥, 周杰, 高宝钗. 生物制剂深度处理技术在选矿废水改造工程中的应用[J]. 广东化工, 2019, 46(14):147-148.
- [36] 卢致明, 韩彬, 张亮亮, 等. 生物制剂在多金属选矿废水处理的应用研究[J]. 世界有色金属, 2019(6):127-129.
- [37] 史连军, 张仁忠. “反渗透-沉淀-膜蒸馏”集成工艺分离磷矿选矿废水中氯离子的研究[J]. 化工矿物与加工, 2016, 45(8):14-16.
- [38] 陈潇影. 生物膜法处理磷矿选矿废水[J]. 化工管理, 2016(10):210.
- [39] 董冰岩, 李琼, 王慧, 等. 高压脉冲放电降解选矿废水中残余黄药的研究[J]. 现代化工, 2019, 39(9):87-91.
- [40] 长沙有色冶金设计研究院有限公司. 白钨选矿废水处理工艺:中国, CN102826695 A[P]. 2012-12-19.
- [41] 姜智超, 余侃萍. 氧化-絮凝法处理钨铋选矿废水[J]. 矿冶工程, 2019, 39(1):91-94.
- [42] 张雅潇. 中和-混凝沉淀法处理选矿废水的工艺设计[J]. 现代矿业, 2018, 34(3):187-189.
- [43] 黄艳圆, 方夕辉, 曾怀远. 絮凝沉降-臭氧氧化法处理硫化铜选矿废水试验[J]. 金属矿山, 2018(2):200-204.
- [44] 冯章标. 柿竹园钨多金属选矿废水处理与回用新工艺及机理研究[D]. 赣州:江西理工大学, 2017.
- [45] 胡波. 复杂多金属硫化矿选矿废水处理与回用工艺研究[D]. 长沙:湖南农业大学, 2012.
- [46] 陈益成. 某煤矿废水处理工程实例[J]. 广东化工, 2019, 46(13):136-137, 146.
- [47] 杨建文. 盘龙铅锌矿铅选矿废水处理及循环回用研究[J]. 有色金属工程, 2018, 8(2):133-138.
- [48] 沈怡, 彭新平, 欧阳坤, 等. 某钨铜钼多金属选矿废水处理及回用试验研究[J]. 工业水处理, 2018, 38(1):62-64.

Research Progress of Mineral Processing Wastewater Treatment in China

ZHANG Zuojin¹, CHEN Haibin^{1,2}, WU Tianlai¹, ZHOU Zhenhua¹, LIU Zhongxin²

1 Chengde Baotong Mining Co., Ltd., Chengde 067000, Hebei, China

2. Huaxia Jianlong Mining Technology Co., Ltd., Beijing 100079, China

Abstract: The wastewater produced in the mineral processing process not only has a great influence on the environment around the mining area, but also has a certain influence on the concentrate quality when the mineral processing agent and heavy metal ions are reused in the mineral processing wastewater. The influence of mineral processing wastewater on environment and mineral processing process were analyzed by summing up the relevant literature. The coagulation and precipitation method, the adsorption method, the chemical oxidation method, the chemical precipitation method and the microbial treatment method and their advantages and disadvantages were summarized. This paper introduced new methods of treating mineral processing wastewater in laboratory in recent years. In the future, the development trend of mineral processing wastewater treatment is to gradually adopt multiple treatment methods instead of a single treatment method, and gradually adopt environment – friendly and low – cost treatment methods.

Key words: mineral processing wastewater; coagulation sedimentation; chemical oxidation

引用格式:张作金,陈海彬,吴天来,周振华,刘忠信.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 ZJ, Chen HB, Wu TL, Zhou ZH and Liu ZX. Research progress of mineral processing wastewater treatment in China[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2020, 40(1): 79-84.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: kcbh@chinajournal.net.cn