

余永富 主编

2012年全国选矿前沿技术 大会论文集

 冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

2012 年全国选矿前沿技术 大会论文集

余永富 主编

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2012

内 容 提 要

本书收录了 100 余篇选矿前沿技术论文, 内容涉及选矿方法、选矿工艺、选矿机械以及尾矿处理等内容。

本书可供选矿、采矿等行业生产、科研、设计人员阅读, 也可供高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

2012 年全国选矿前沿技术大会论文集/余永富主编.
—北京: 冶金工业出版社, 2012.9
ISBN 978-7-5024-6071-6

I. ①2… II. ①余… III. ①选矿—学术会议—文集
IV. ①TD9-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 204916 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbs@cnmip.com.cn

责任编辑 杨秋奎 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 王贺兰 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-6071-6

北京百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销

2012 年 9 月第 1 版, 2012 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 35.75 印张; 865 千字; 562 页

120.00 元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿邮箱: tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100010) 电话: (010)65289081 (兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

序

资源是有限的，技术是无穷的。矿物加工是国民经济生产中的必不可少的重要环节，如何使有限的资源实现最优化利用，是我们每一个矿物加工学者和技术人员梦寐以求的目标。要做到矿产资源的充分合理高效利用，就要坚持科学装备，追求绿色选矿，以达到节能减排、环保高效的目的。

由中国金属矿业协会、武汉理工大学、中国环保联合会环境能源专业委员会和中国机械工业企业管理协会中小企业专业委员会联合主办的“2012 全国选矿前沿技术与装备大会”，汇集全国矿山生产企业、大专院校、科研与设计院所、设备厂商之智慧，合力探讨我国矿物加工发展之大计，以实现矿物加工事业的蓬勃发展！

俗话说：滴水成江海！汇百家之长，大力开展绿色选矿，结合科学装备，发展矿业与资源循环经济，定能实现资源高效利用和可持续发展。

中国工程院院士 余永富

2012 年 8 月

目 录

选矿废水回用技术动态	罗立群 柳 溪	1
低硫高磷鲕状赤铁矿选矿工艺初步研究	陈文辉 陈 广 李先海 等	10
硅钙质磷矿石脱硅浮选试验研究	刘志红 陈永伟 陈武生	15
高寒环境下生物氧化提金工艺研究与应用	郑 晔	21
南美洲某铁矿氧化矿选矿试验研究	杜保清	28
浅谈难选铁矿磁化焙烧设备	张裕书 陈 超 杨耀辉	40
铁矿尾矿资源化综合利用方法	吉少清 王志良 高军燕 等	47
复合闪烁磁场精选机的研制与应用	蒋文利	54
河南某风化壳型金红石矿选矿试验研究	周新民 徐 靖 宋翔宇 等	63
利用惯性圆锥破碎机实现超贫磁铁矿的超细碎		
预选抛尾	唐 威 陈 帮 王 旭	72
石墨尾矿制备加气混凝土砌块	李文浩 任京成 代建青	76
铝土矿正浮选用浮选机技术与应用	周宏喜 曹 亮 刘承帅	81
铝土矿选精矿对于拜耳法工艺的影响	娄世彬	87
铅钼矿选矿试验研究	吴 贤 曹 亮 马 光	96
三鑫公司选矿车间 3000t/d 扩改技术实践	李新文 刘术辉	102
HM-FC 型磁性衬板应用于大姚铜矿的适应性研究	杨俊平 阎信卫	108
尖山铁矿选矿技术进展	王英姿	112
上官金矿选矿厂老式球磨机节能改造	黄进献 董延超 谢凤祥	116
提高锡精矿产品质量和回收率的新工艺研究及应用	阮文萍 杨俊平	119
铜陵笔山单一铜矿石浮选试验研究	柳 红	124
细粒浮选技术研究进展	王志国 刘承帅	135
一种新型白钨捕收剂在白钨浮选中的应用	吴铁生 简建军 李玉坤	141
智能无气开式齿轮喷射润滑装置研究与应用	马纪文 刘 波 徐万福	145
影响矿石破磨的工艺矿物学因素	马 驰	150
祁东铁矿选矿现状、存在问题与解决思路	严金中 周灵初 全永畅 等	153
我国铁矿资源的供给格局与市场分析	王海军 徐 鹏	158

浅谈高浓度充填工艺技术的研究与发展·····	陶传宝 杨鑫生	163
大红山铁矿 35%品位铁精矿反浮选·····	沈立义	167
三山岛金矿选矿车间磨浮设备技术改造实践·····	李旭东 亓传铎 秦香伟 等	170
尾矿减排与综合治理·····	亓传铎 马云庆 杨守斌 等	174
破碎系统扩产增能实践·····	任向军 宋春丽 桑玉华 等	178
BGRIMM 浮选机的历史与发展·····	张建一	183
超贫钒钛磁铁矿中磷的可选性试验研究·····	赵淑芳 张春舫 刘 畅 等	189
几种常用数学软件在选矿技术数据分析中的探索应用 ·····	邱高峰 高连启 钱可智 等	194
论黄金矿山企业精细化管理方式与方法·····	蔡圣锋 吕晓兆	199
铜镍选厂技术革新及效果·····	杨金贵 李金良	206
超导磁选的发展历程·····	孙仲元 朱自安 王美芬 等	211
主要磁选设备的发展历程·····	孙仲元	217
浅谈矿物的粒度对金山店铁矿浮选硫精矿的影响及解决措施·····	罗文斌	223
调整剂 T-235 在浮选中调整作用的研究·····	宋国顺	226
降低磨矿钢球消耗攻关研究·····	南世卿 王得志 张春舫	233
尾矿的无水化处理与安全环保·····	刘照朗	239
锡石回收新工艺——Falcon 离心机的探索研究·····	莫 峰	245
某尾矿综合利用回收铁铜硫矿物试验研究·····	吕 锋	251
杨家坝铁矿尾矿库扩容安全运行实践·····	何军利 高正发 卢定一 等	256
铜选厂中细碎流程实用数学模型的研究与应用·····	钟国建 程新桃	262
提高磨矿细度 改善铅锌混合精选指标技术分析·····	孙肇淑 张 筠	269
SLon 磁选机在大型氧化铁矿选矿厂的应用·····	熊大和	274
萤石型白钨矿浮选试验研究·····	潘高产 朱一民 周 菁 等	284
大型浮选机在黄金矿山的应用和发展·····	郝一乐 牛桂强 刘海龙 等	292
武山铜矿中矿再磨工艺试验研究及应用·····	周建华 阮华东 黄金华 等	298
细粒金矿石的重选回收生产实践·····	陈桂霞	304
铜绿山难选氧化矿的配矿试验研究·····	李代康 李显元 周明华 等	309
尾矿无废化处理和管理实践·····	赵 英	314
磨矿分级自动控制系统在金岭金矿的应用·····	宋运富 顾 博	321
静压轴承在弓选厂 1500kt 红矿技改中的应用·····	都业富 陈 勇 李世国 等	328
球磨机转速对细度的影响实验研究及在矿山 生产中的应用·····	赵在超 安云明 谢敏雄 等	333

大红山铁矿 4Mt/a 选厂降尾工艺优化	温海滨 邓 琴 董慧琳 等	337
浮选机应用于磷矿浮选的设计与实践	刘承帅 曹 亮 王志国	342
强磁干选设备在选矿厂中的应用	张永德 苏洪洋	347
冬瓜山铜矿常规应力变形监测系统及监测技术研究	陶传宝 汪令辉	352
冶金矿山尾矿胶结充填关键技术的探讨	杨鑫生 惠 林	356
浅谈冬瓜山铜矿充填自动化控制技术的实践	陶传宝 杨鑫生	361
浅谈充填材料及级配、充填工艺与充填质量和安全		
经济效益的关系	张卫东 王发芝	365
盘区采场结构应力变形活动研究	张卫东 许君名 王发芝	370
浮选自动控制系统在金岭金矿的应用	宋运富 顾 博	373
φ1500mm 螺旋溜槽在阶段磨矿、粗细分选、重选—磁选—		
阴离子反浮选联合工艺中的应用	刘新刚 陈洪彬 郑百效	376
鞍钢齐大山铁矿选矿技术发展及展望	张国庆 白晓鸣 李洪冰	381
鞍山某选厂选矿工艺优化研究	张丛香 钟 刚 白元生	385
粗细分级旋流器系统控制与优化的探讨	袁海燕	391
阶段磨矿、粗细分选、重选—磁选—阴离子反浮选联合工艺中		
矿循环量优化探讨	钮展良	396
一种极贫磁铁矿高效选别新工艺研究	张丛香 刘双安 白元生	401
齐大山选矿厂二次磨矿工艺优化研究	何晓明 苏兴国	405
提高破碎筛分能力 改善入磨粒度	闵庆刚 徐俊峰 何晓明	410
浅析大型铁选厂废水零排放工艺实践	于克旭 徐连生	417
浅析排土场的危害及其综合治理对策	高战敏 牛文杰	423
大红山降尾工作思考	蔡正鹏	427
水力旋流器的分离理论和应用发展	岑对对 罗立群 王春来	431
复杂铜铅锌多金属矿选矿工艺研究	穆晓辉 赵天岩	437
小铁山多金属矿石铜与铅锌分离试验研究	赵天岩 张文乾	443
立式全自动压滤机在精细煤泥过滤上的选型试验	罗 涛 梁 恺	452
变频器在渣浆泵电动机自动控制改造中的应用	劳晓峰 高振祥 江建国 等	456
非金属矿物研磨中金属磨机磨损铁的去除工艺研究	唐 奇	460
联合除铁系统在傲牛铁矿选矿中的应用	刘传国 李云平 黄金夫 等	465
探讨影响铜绿山矿铜精矿过滤水分的因素及		
改进对策	陈灵芝 李显元 邵致远 等	469
微机控制加药系统的设计	欧阳凯	474

利用 MATLAB 对煤炭发热量的回归分析	张义顺 王飞跃 史长亮 等	478
某铜锌硫化矿难以分离的原因分析及具体解决方案	张成强 郝小非 何腾飞	482
内蒙古某难选氧化铅矿石选矿试验研究	岳 岩	489
铜钼分离工业生产试验研究	刘子龙	494
应用在线粒度与浓度分析优化研磨过程	Axel Pankewitz 曾绍平 耿建芳	499
内蒙古某复杂铅锌多金属矿选矿试验研究	吕振福 李洪潮 张红新 等	506
尾矿干堆技术在新疆大明矿业集团天湖铁矿的应用实例	杨益敏	512
尾矿水回收再利用方法改进对环境保护的意义	蓝明民	517
黑龙江某金精矿浸渣选锌试验研究	饶 鹏 丁峻峰	519
浅谈我矿磁选尾矿综合回收试验研究	刘青山	526
承德地区超贫磁铁矿开发利用选矿工艺探讨	刘兰花	529
联合选矿方法处理混合型铁矿石试验研究	于克旭 戴兴宇 赵 磊	532
高原高寒地区选矿厂设计	孔建河 陈平炬 李家奇 等	543
归来庄金矿全泥氰化工艺选矿自动化应用	张 伟 施兴平 卢 栋 等	550
锌冶炼企业废渣综合回收项目的技术应用现状及投资管理建议	岳树宇	556

选矿废水回用技术动态

罗立群^{1,2} 柳 溪^{1,2}

(1. 武汉理工大学资源与环境工程学院, 武汉 430070;

2. 矿物资源加工与环境湖北省重点实验室, 武汉 430070)

摘 要: 本文简要介绍了选矿废水回用的意义和迫切性, 总结了选矿废水的来源与危害, 论述了当前切实可行的选矿废水处理技术, 列举了几种典型选矿废水处理回用生产实践情况, 介绍了选矿废水回用技术的发展方向。

关键词: 选矿; 废水; 选矿药剂; 回收利用

1 引 言

选矿废水是选矿生产过程中产生的含药、含泥和其他化合物的污水, 各种金属矿、非金属矿选矿都会产生大量的选矿废水, 对环境的危害已被人们所重视。选矿废水的处理与回用是环境友好型企业的重要体现, 也是清洁生产的重要特征之一。如有色金属选矿中处理 1t 矿石, 浮选法用水 $4\sim 7\text{ m}^3$, 重选用水 $20\sim 26\text{ m}^3$, 浮磁联选用水 $23\sim 27\text{ m}^3$, 重浮联选用水 $20\sim 30\text{ m}^3$, 除去循环使用的水量, 绝大部分消耗的水量伴随尾矿以尾矿浆的形式排入尾矿库^[1]。

国务院今年发布的《关于实行最严格水资源管理制度的意见》中的“三条红线”提出, 到 2030 年全国用水总量控制在 7000 亿立方米以内; 用水效率达到或接近世界先进水平, 万元工业增加值用水量降低到 40 m^3 以下, 进一步明确了水资源开发利用控制、用水效率控制、水功能区限制纳污的主要目标。

如何处理、利用这些废水一直以来都是一个应用性很强的现实问题。从国内外选矿废水的净化处理现状来看, 对选矿废水单纯进行处理使之达到排放标准, 不仅处理难度大, 而且处理成本非常高。而对选矿废水进行相应的处理, 使废水回用后对生产指标没有影响或者影响甚微则是可行的, 不仅节约新水和药剂的用量, 而且减少对环境污染, 环境效益和社会效益非常显著, 是今后选矿废水净化处理的发展方向。

2 选矿废水的来源与危害

选矿厂碎矿和选矿过程中外排的废水均称为选矿废水, 具体来源包括: (1) 选矿厂排出的尾矿液、精矿浓密池溢流水、精矿脱水车间过滤机的滤液以及洗矿废水等; (2) 碎矿与筛分车间、胶带走廊和主厂房、矿石转运站的地面冲洗水, 碎矿过程中湿法除尘的排水; (3) 碎、磨矿设备冷却器的冷却水和真空泵的排水; (4) 药剂制备车间及石灰乳冲洗地面排水, 以及选矿过程中脱药排水; (5) 中矿浓密溢流水和选矿过程各类事故池的排水等。

在浮选过程中,为了有效地将目的矿物分选出来,需要在不同的作业加入大量的浮选药剂,主要有捕收剂、起泡剂、有机或无机的活化剂、抑制剂、分散剂等,其中的部分金属离子、悬浮物、有机或无机药剂的分解物质等都残存在选矿废弃溶液中,形成含有大量有害物质的选矿废水,直接回用时严重影响选矿指标。米丽平等^[2]对某铜铅锌硫化矿浮选废水特性研究表明:选矿废水的COD值都随着回用次数的增加而增大,废水中的金属离子浓度因废水种类的不同而异;废水直接回用对浮选的负面影响主要是铜铅分离紊乱,如铜精矿中铅的含量由1.55%上升到8.31%,而相应铜精矿的品位由26.84%下降到24.30%,导致铜精矿中铅含量严重超标。

直接排放选矿废水,无疑将对环境造成严重污染,这使得我国矿山每年采矿与选矿排出的污水达12~15亿吨,占有色金属工业废水的30%左右。选矿废水中的污染物主要有悬浮物、酸碱、重金属、选矿药剂、化学耗氧物质和砷、氟等有害元素,它们的影响和危害如下^[3~5]:

(1) 悬浮物:水中的悬浮物主要影响水生物生活条件,如阻塞鱼鳃,影响藻类的光合作用。过高的悬浮物可能使河道淤积,引水渠道堵塞,用之灌溉会使土壤板结。作为生活用水,悬浮物从感观上使人生厌,同时细菌、病毒必然附着在悬浮物上,对人体有害。当悬浮物中含重金属化合物时,在一定条件下会转化成溶于水中的金属离子造成危害。

(2) 黄药:学名黄原酸盐,淡黄色粉状物,有刺激性臭味,易分解。被黄药污染的水体,其鱼虾等有难闻的黄药味。黄药在水中不稳定,易溶于水,尤其是在酸性条件下易分解,其分解物 CS_2 造成硫污染。

(3) 黑药:主要成分为二烷基二硫化磷酸盐,其杂质为甲酸、磷酸、硫甲酚和硫化氢等,为黑褐色油状液体,微溶于水,有硫化氢臭味。它是选矿废水中酚、磷等污染的来源。

(4) 松醇油:主要成分为萜烯醇。黄棕色油状透明液体,不溶于水,属无毒选矿药剂,但具有松香味,能引起水体感观性能的变化。由于松醇油是一种起泡剂,易使水面产生令人不快的泡沫。

(5) 氰化物:氰化物进入人体,在胃酸的作用下水解成氢氰酸而被肠胃吸收,再进入血液。血液中的氢氰酸能与细胞色素氧化酶的铁离子结合生成氧化高铁细胞色素氧化酶,从而失去传递氧的能力,使组织缺氧导致中毒。氰化物在水体中有自净作用,常利用这一特性延长选矿废水在尾矿库中的停留时间,使之达到排放的标准。

(6) 硫化物:在水中影响水体的卫生状况,在酸性条件下生成硫化氢。当水中硫化氢含量超过 0.5 mg/L 对鱼类有毒害作用,并可觉察其散发出的臭气;低浓度 CS_2 在水中易挥发,通过呼吸和皮肤进入人体,长期接触会引起中毒,导致神经性疾病——夏科氏 CS_2 癔病。

(7) 化学耗氧物:水中化学耗氧物的多少以化学需氧量作为指标。化学需氧量是指在一定条件下,以一定的氧化剂氧化水中的卫生状况。选矿废水中的耗氧物主要是残存于水中的选矿药剂,对有害的选矿药剂还应单独分析,不宜只用一个化学需氧量的指标来衡量其危害性。重金属如铜、铅、锌、镉、铬、汞及砷等离子及其化合物的危害性已是众所周知。

3 选矿废水净化处理技术

3.1 传统尾矿库的多功能净化处理

生产中选矿废水多用于尾矿输送,与尾矿合并称为尾矿矿浆,输送至尾矿库沉淀浓缩,分离出尾矿砂和回水。传统的选矿废水处理,一般是以尾矿库为主要处理设施,尾矿经过尾矿库的自然沉降、阳光照射分解、回水自然澄清、尾矿砂堆积的措施进行处理,回水部分返回生产流程继续使用^[6,7]。

由于选矿处理的矿石不同,选矿废水中的pH是选矿废水成分的有效指示器,可依据pH将尾矿库废水分作3类:

(1) 中性条件:废水中的化学成分主要限于母岩中以中性可溶解的那些成分,而可能使硫酸盐、氯化物、钠和钙的浓度略有提高。

(2) 碱性条件:碱性加大可导致硫酸盐、氯化物、钠和钙的浓度提高,虽然存在某些金属污染物,但常常不出现很高浓度的阳离子重金属的广泛活动。

(3) 酸性条件:酸性高可提高许多金属污染物的平衡水平,酸性溶浸的废水可能显示出像铁、锰、锡、硒、铜、铅、锌和汞等阳离子成分的高含量酸性废水,也显示出像硫酸盐或氯化物等阴离子浓度较高。

对44个矿山选矿废水处理方法的调查结果显示最普遍采用的是自然净化法。因尾矿库独特而优异的净化废水功能,其净化作用有^[8,9]:

(1) 稀释作用:天然降雨和库区溪水的稀释净化。

(2) 水解作用:黄药和氯化物在库水中极易水解,其自净滤达57%~100%。

(3) 沉淀作用:尾矿水按密度和固体颗粒大小作规律运动,废水在库内停留时间越长,其沉淀效率越高,通常尾矿废水在库中停留3~7昼夜,澄清水中悬浮物浓度均低于国家污水排放标准。

(4) 生化作用:尾矿库既是沉淀池又是自然曝气氧化塘,不仅能氧化降解废水中的各种有机物,而且能吸收并浓缩废水中有害金属元素。铅锌矿选厂的尾矿水在尾矿库内澄清后,有害成分的含量均得到了降低。自然净化的效果同环境的温度、历时长短及空气接触条件等有关。

3.2 基于化学、物理与生物联合净化技术

多年来,对选矿废水处理工艺,部分选矿因其处理矿石性质不同或矿石复杂难选、循环水利用率提高等原因,外排水质量一直达不到国家环保检测标准,必须对选矿废水处理采用新的方法,以实现技术突破。目前常用的选矿废水处理方法主要有:氧化处理法、混凝法、吸附法、化学沉淀法、生物降解法、尾矿库自然沉降法等,主要工序分为调浆—混凝—沉淀—吸附—分离—回用等几个步骤^[10~12]。

针对选矿废水中的污染物特征和回用方案,制定出特色处理工艺流程,某尾砂库溢流水处理工艺流程如图1所示^[13]。尾砂库溢流水通过管道自流进入旋流折板反应池,在反应池首端加石灰乳,调pH值至11,通过压缩双电层和电性中和等机理使胶体脱稳,反应时间为5 min;再加入聚合氯化铝(PAC)进行絮凝反应(投加量为20 mg/L),反应时间

为 25min; 然后通过配水孔口自流进入斜管沉淀池进行固液分离; 清液自流进清水池调 pH 值外排或直接回用作补充水。斜管沉淀池底流通过排泥管汇入泥浆池后泵入尾砂输送管送至尾砂库沉淀。

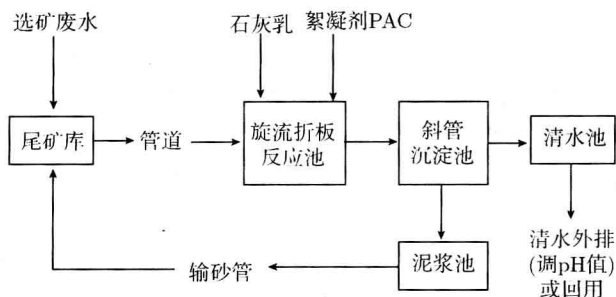


图1 某尾砂库溢流水处理工艺流程

对某铅锌选矿废水处理的工艺流程, 采用调pH值—氧化混凝—沉淀—吸附—回用的废水处理工艺如图2所示^[14]。通过调整废水pH值, 采用硫酸亚铁作为混凝药剂, 通过絮凝和氧化作用去除废水中重金属离子和选矿药剂, 再催化氧化吸附去除残留的选矿药剂和 Fe^{2+} , 以满足选矿回用水质要求。

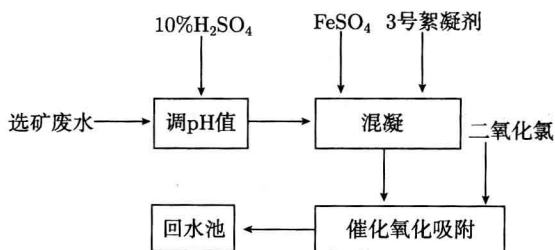


图2 某铅锌选矿废水处理工艺流程

有的宜分类适度处理再合理利用, 如浮选回用时, 采用成本较低的混凝沉淀-活性炭吸附工艺即可使用; 作为外排时, 则需采用混凝沉淀-双氧水化学氧化工艺彻底净化^[15-16]。对废水中的具体污染物, 可以采用的原则处理单元有:

(1) 悬浮物: 主要采用预沉淀、混凝-沉淀法。

(2) 酸碱性废水: 废水相互中和法、尾矿碱度中和酸性。

(3) 重金属离子: 调节原水 pH 值沉淀或浮选技术、硫化物沉淀、石灰—絮凝沉淀、吸附技术(包括生物吸附)、螯合树脂法、离子交换法、人工湿地法。魏以和等^[17]以羟基磷灰石和聚合二硫代氨基甲酸盐为重金属吸附剂, 降低回水对铅锌浮选的不良影响。

(4) 黄药、黑药与有机成分: 铁盐混凝-沉淀法、漂白粉氧化、Fenton 氧化降解法、臭氧分解法、人工湿地等技术。Ai Guanghua 等^[18]用 Fenton 氧化降解法, 当采用 H_2O_2 为 28 mg/L, Fe^{2+} 浓度为 21 mg/L 时, 对实际选矿废水中黄药的降解率达到 96.88%, 满足环境排放标准。

(5) 氰化物: 自然净化法、次氯酸盐-液氯氧化、过氧化氢氧化法、铁络合物结合

法、难溶盐沉淀法、酸化-挥发再中和法、硫酸锌-硫酸法、二氧化硫空气氧化法、电解氧化法、臭氧氧化法、离子交换法、生物降解法、人工湿地法。

国外对选矿废水处理技术除了常规的分类回收,尾矿池净化处理,以及调节 pH 值,絮凝、浓缩、过滤外,还进一步利用协同沉淀反应,水冶技术回收金属离子,絮凝浮选处理工艺,氧化降解氰化物,团聚和包裹固体废物颗粒等方法^[7]。

4 典型选矿废水处理应用动态

根据选矿工艺特点及用水性质,科学管理,节约用水是各个选厂致力于研发的重要课题之一。由于选矿废水中含有残存的选矿药剂和其他杂质,回用不当则会引起选矿指标的恶化,特别在有色多金属矿浮选过程中更为明显。国内对选矿废水的治理与回用已有许多成功的实践经验^[2, 13~16, 19],下面对几类典型选矿废水的处理利用方法进行介绍。

4.1 铅锌硫化矿选矿废水循环利用法

以铅锌矿为主要元素的有色金属选矿废水的处理与回用是研究和应用最多的一类。铅锌硫化矿选矿废水通常包括铅、锌、硫、尾矿浓缩废水等多种。该方法是将选矿废水中加入硫酸,调节 pH 值为 8~11;加入有机硅消泡剂、絮凝剂和硫酸铝进行混凝沉淀,消除废水中悬浮物和重金属离子。硫酸铝的加入量为 10~50 mg/L,絮凝剂的加入量为 0.1~1 mg/L。将混凝沉淀后的废水再加入 0~300 mg/L 的活性炭进行吸附,降低废水中的有机药剂含量。在聚合硫酸铁 PFS-FeSO₄ 复合混凝剂处理铅锌矿选矿废水过程中,当 500 mL 废水中加入 0.5g Na₂S, PFS-FeSO₄ 剂量为 56 mg/L 时,Cr 去除率显著提高,Cu, Pb, Cr 和浊度去除率分别为 84.69%、99.97%、98.90%和 99.14%,Cu、Pb 和 Cr 残余浓度分别为 0.098 mg/L、0.0010 mg/L 和 0.42 mg/L,残余浊度为 1.2^[10, 12, 20]。

通过对凡口铅锌矿选矿废水沉降性质的研究,提出了稀释、絮凝沉降与高效浓密处理技术,采用废水分类处理,分别返回不同作业的新技术^[21];凡口铅锌矿年减少废水排放 600 万立方米,减少了捕收剂、起泡剂、活化剂的用量 10%,锌回收率提高 1%,年产生直接经济效益 1600 万元,该废水综合利用系统具有良好的稳定性。

4.2 利用臭氧分解选矿废水中黄药和 2 号油

选矿药剂具有异常气味,黄药浓度在小于 0.005 mg/L,2 号油小于 0.2 mg/L 以下时,才能消除它们的特殊气味,这也是废水中黄药和 2 号油的排放标准。黄药和硫离子极易被氧化,而 2 号油是一种很稳定、难分解、难自净的有机化合物,只有在强氧化剂作用下才能被氧化。臭氧作为消毒剂在世界上应用已有百年的历史,它可以除臭、除色、除味和灭菌、杀毒及分解破坏有机物,生成物中不存在致癌与可能致癌的有机物,臭氧和活性炭超声波的联用已应用于国外的水消毒中。臭氧的氧化能力强,约为氯氧化能力的 2 倍,氧化反应速度也比氯快,又不存在二次污染。它在水中的氧化还原电位仅次于氟;臭氧可以氧化分解废水中的还原性物质,达到净化废水的目的。利用臭氧的强氧化能力来氧化分解选矿废水中的浮选药剂黄药类和 2 号油效果明显,可使其得到深度处理。选矿废水中的有害物质黄药、2 号油和硫离子等均可被臭氧氧化,生成盐类和其他无毒物质。

臭氧能使选矿废水中浮选药剂黄药和 2 号油得到深度处理,处理后黄药小于 0.0005 mg/L、2 号油小于 0.01 mg/L^[22]。

该方法是在选矿废水中先添加聚合硫酸铁 $(3\sim 10)\times 10^{-6}$ 作为混凝剂进行絮凝沉降;沉降后调节选矿废水 pH 值为 9~11,将选矿废水注入浮选槽,在浮选机的搅拌下通入臭氧并控制臭氧浓度为 $(10\sim 100)\times 10^{-6}$,时间为 10~30min 进行氧化处理,并利用抽风系统收集从浮选槽上方溢出的臭氧,再通入下一级浮选槽。该方法与曝气法或生物处理法联合使用。

4.3 黑色矿山选矿废水处理技术的改进

莱芜某厂为提高浓缩机的沉淀效率和尾矿输送浓度,将 18 m 的浓缩机改成了旋流絮凝沉淀池,具体是在 18 m 浓缩机中心支柱和耙架之间安装一个旋流反应器,它的形状呈圆台状,内部装设多层旋流导板。旋流絮凝沉淀池采用深层进水,大大缩短了固体颗粒的沉淀距离,使中粗颗粒很快沉入压缩层。相对降低了池体中部和上部水体的浓度,而细颗粒被迫进入浓度较高的压缩区上部。由于稠密颗粒的碰撞,大大削减了它们的能量,使相当数量的细颗粒停留下来不能上浮,相应提高了底流浓度。投加阴离子型聚丙烯酰胺沉降,结合浓缩机底流计算机自动控制。改进后尾矿浆排放量由 180 m³/h 控制到不大于 115 m³/h,浓缩机底部排污率由 15%提高到 31.89%,选矿废水处理系统良好,出水水质均达标排放^[23]。

4.4 稀贵金属矿选矿废水回用技术

钨矿选矿废水中主要污染物为选矿悬浮物及部分重金属,其对废水的色度、浊度和 COD 影响严重。废水水质指标为:灰色, $\rho(\text{SS})=21000\text{ mg/L}$, $\text{pH}=6.1$,浊度=14000 TU, $\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})=380\text{ mg/L}$, $\rho(\text{Zn})=2.0\text{ mg/L}$ 。解庆林等^[24]采用初沉池停留 4 h 后去除较大的砂粒,再在混合池中混凝剂与废水经机械搅拌 1 min,经隔板反应絮凝池进行絮凝沉淀,经平流式沉淀而得清水,尾矿与沉淀污泥分别用抓砂机和污泥泵处理与干化堆放,该钨矿废水处理工艺流程如图 3 所示。影响沉淀效果的主要因素是:(1)混合效果;(2)絮凝效果;(3)沉淀池中实际水流;(4)沉淀时间等。

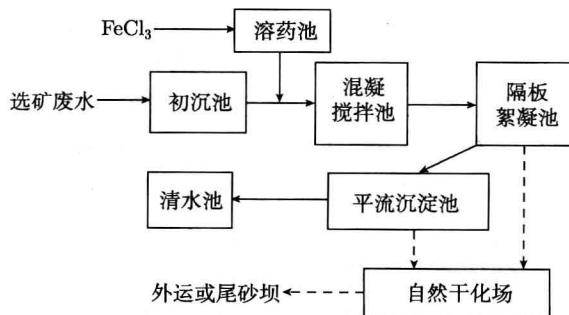


图 3 某钨矿废水处理工艺流程

4.5 磷矿浮选废水的影响与治理

磷矿选矿废水中主要含 SO_4^{2-} 、 PO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 等离子而使这些废水难处理。张亚东等^[25]研究晋宁磷矿选矿回水中阴阳离子对浮选的影响表明：钙镁离子对浮选指标影响较大，且导致浮选精矿产率下降，脂肪酸类捕收剂都被沉淀为脂肪酸钙和脂肪酸镁，并影响药剂的选择性。云南安宁某磷矿原矿品位 22.52%，赵凤婷^[26]研究了将这些废水作为选矿回水再利用，结果发现：尾矿回水中 Ca^{2+} 浓度小于 150 mg/L 时，可以返回正浮选使用；将精矿、尾矿回水添加石灰、碳酸钠处理后，可作为磨矿水和补加水使用。

总之，对选矿废水治理与循环利用的根本方法是：（1）加强选矿废水水质特性研究与分析，强化废水的分类收集与管理；（2）注重选矿废水处理系统的设计与分类回用；（3）配合沉淀与絮凝药剂，联合多级沉淀与高效浓密设施净化处理；（4）建立自动检测与预报系统机制，实现在线实时监控。

5 选矿废水治理技术发展

矿山选矿废水中有的因含有重金属离子或有毒化合物而易造成污染，且不易治理，新的处理技术采用生物质废料吸附、纳米技术电絮凝、生物膜处理等技术，及其废水电化学机理研究成为当前的研究热点或深度处理技术^[27~31]。郑天宇等^[27]研究了改性秸秆对矿山废水铜离子的吸附特性，XRD、SEM 分析手段显示改性后秸秆的表面结晶度等发生了变化，在秸秆 18 g/L，常温下对云南 3 个不同矿山含铜废水吸附 80 min 的结果显示，经吸附处理后的废水均可排放，且改性秸秆价格低廉，利于节约生产成本。

针对铝土矿正浮选尾矿难于沉降和脱水的情况，姜燕清^[28]考察了矿浆 pH 值、矿浆浓度、凝聚剂与絮凝剂对尾矿沉降性能的影响，研究表明：颗粒表面电性是影响铝土矿浮选尾矿沉降性能的重要因素，其次是矿浆浓度与黏度；采用分子量为 1400 万的聚丙烯酰胺能取得较好的沉降效果，通过氢键吸附于尾矿的高岭石和一水硬铝石表面并产生强烈的絮凝作用。用甲苯磺酸调节尾矿 pH 值时可获得较优指标。

针对巴西某酸性矿山废水，A. N. Silveira 等^[29]采用沉淀重金属离子—絮凝—絮凝颗粒的固液分离的工序，在 pH 时去除重金属离子，高速浮选和薄层沉淀装置都能取得较好的分离絮凝物的效果。浮选负荷容量达到 $13\sim 15\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，薄层沉淀装置负荷容量中虽然有 $5\sim 6\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，但能量消耗较小且不需浮选药剂，BOD、TOC 和固体悬浮物均较低，几乎不含金属离子，处理后的废水能用于工业生产、农田灌溉、街道清洗与降尘等用途，显示较好的商业应用潜力。

对铜矿处理中的含砷废水，在常规的化学与物理联合处理技术外，智利学者 P Nuñez 等^[30]采用纳米颗粒电凝结技术，在废水中添加零价态的纳米铁颗粒，并在一定的电流密度下进行电凝结，形成氢氧化铁-砷酸盐沉淀。

6 结 论

选矿废水回用是治理多金属矿选矿废水最为简单、有效的方法。针对复杂矿石选矿厂废水处理成本较高的现实情况，需要进一步加强选矿废水的特性研究，摸索选矿废水回用的循环规律，分类适度处理和利用，以提高选矿废水中药剂成分利用率和废水利用

率,降低废水对选矿指标的影响,实现选矿废水零排放,杜绝选矿废水对环境的污染,提高循环经济效益。随着国家加强用水效率、限制纳污目标的提高,必然将进一步促进选矿废水治理与回用技术的发展。

参 考 文 献

- [1] 张景来,王剑波. 冶金工业污水处理技术及工程实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 57~110.
- [2] 米丽平,孙春宝,周峰,等. 某铜铅锌硫化矿浮选废水特性研究[J]. 金属矿山, 2011: 161~164.
- [3] 洪建军,罗建中,陈敏,等. 清洁生产技术在选矿废水净化处理中的应用[J]. 矿业安全与环保, 2004, 31(2): 33~35.
- [4] 王凤艳,徐秀梅. 矿山采选矿工程尾矿库选矿废水的水质特征分析[J]. 北方环境, 2001, 3: 57~58.
- [5] Boening D W. Aquatic toxicity and environmental fate of xanthates [J]. Mining Engineering (Colorado) (USA), 1998, 50(9): 65~68.
- [6] 孙水裕,谢光炎,宁寻安,等. 硫化矿浮选废水净化与回用的研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2001, (4): 33~37, 41.
- [7] Smith R W. Liquid and solid wastes from mineral processing plants[J]. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 1996, 16(1): 1~22.
- [8] 袁增伟,孙水裕,赵永斌,等. 选矿废水净化处理与回用试验研究[J]. 水处理技术, 2002, 28(4): 232~234.
- [9] 马耀平. 铜川矿区矿井废水处理回用工程设计[J]. 给水排水, 1998, 24(2): 39~41.
- [10] 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, 38(3): 468~473.
- [11] 孔令强,覃文庆,何名飞,等. 蒙自铅锌矿选矿废水净化处理与回用研究[J]. 金属矿山, 2011, (4): 149~152, 157.
- [12] 严群,谢明辉,罗仙平. 会理锌矿选矿废水循环利用的研究[J]. 给水排水, 2006, 32(4): 54~56.
- [13] 许国强. 高悬浮物选矿废水处理技术与工程实践[J]. 矿冶, 2005, 14(2): 28~32.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 王建斌,刘运杰,杨荣耀,等. 某浮选厂废水净化回用的试验研究与工业实践[J]. 矿产综合利用, 2003 (1): 14~17.
- [17] Wei Yihe, Zhou Gaoyun, Roelf F S. Effects of recycled water on flotation of a complex sulphide ore [J]. Nonferrous Metals, 2006, 58(2): 82~86.
- [18] Ai Guanghua, Tu Yanqiong. Degradation of residual xanthate of in sulfide mineral processing wastewater by Fenton reagent [J]. IEEE, 2011: 3046~3049.
- [19] 惠世和,张林友,等. 某铅锌混合矿选矿废水分段回用研究与应用[J]. 有色金属(选矿部分), 2011 (5): 24~26.
- [20] 孙水裕,王方汉,缪建成,等. 铅锌硫化矿选矿废水循环利用法. 中国, 200410014572.1[P]. 2005-01-12.
- [21] 罗开贤,胡岳华,孙伟. 凡口矿选矿废水资源化综合利用技术研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2003, 4: 34~38.
- [22] 吉鸿安. 利用臭氧分解选矿废水中黄药和二号油[J]. 甘肃冶金, 2008, 30(3): 70~72.
- [23] 王方东,苏立华,孟媛. 黑色矿山选矿废水处理技术的改进[J]. 工业用水与废水, 2006, 37(3): 52~53.
- [24] 解庆林,张学洪,李金城,等. 选矿废水的混凝沉淀处理及回用工程设计[J]. 桂林工学院学报, 2000,

- 20(2): 186~188.
- [25] 张亚东, 李冬莲. 云南晋宁磷矿选矿回水对浮选指标影响的研究[J]. 化工矿物与加工, 2012 (3): 1~4.
- [26] 赵凤婷. 安宁磷矿浮选厂选矿回水试验研究[J]. 武汉工程大学学报, 2011(2): 96~99.
- [27] 郑天宇, 杨雪静, 等. 改性秸秆对矿山中铜离子的吸附性能研究[J]. 矿业工程, 2011(4): 57~60.
- [28] 姜燕清. 铝土矿正浮选尾矿脱水及回用的研究[D]. 中南大学资源加工与生物工程学院, 2011.
- [29] Silveira A N, Silva R, Rubio J. Treatment of acid mine drainage (AMD) in South Brazil: comparative active processes and water reuse [J]. International Journal Mineral Processing, 2009, 93(2): 103~109.
- [30] Nuñez P, Hansen H K, Aguirre S, et al. Electrocoagulation of arsenic using iron nanoparticles to treat copper mineral processing wastewater [J]. Separation and Purification Technology, 2011, 79(2): 285~290.
- [31] Chen Jianming, Liu Runqing, Sun Wei, et al. Effect of mineral processing wastewater on flotation of sulfide minerals [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2009, 19(2): 454~457.