

尾矿资源回收与利用

王宏伟¹, 左玉明², 柴新新³

(1. 吉林省环科环保技术有限公司; 2. 长春黄金研究院; 3. 吉林省兴环公司)

摘要:通过分析我国矿产资源的特点,介绍了尾矿作为二次资源回收和利用的方法和途径。这不仅可以获得良好的经济效益、环境效益和社会效益,而且是矿山可持续发展的必然选择。

关键词: 矿山; 尾矿; 资源; 回收利用; 效益

中图分类号: TD926.4

文献标识码: B

文章编号: 1001-1277(2006)04-0048-04

0 引言

尾矿是矿山开采的原矿石经选矿或其它工艺回收有用组分后废弃的固体物料,呈细粉状,粒径在0.15mm以下,一般堆存在尾矿库中,是工业固体废弃物的主要组成部分。目前,我国发现的矿产有150多种,建设的矿山有8000多座,累计产生尾矿59.7亿t,占地800km²以上,而且每年仍以3.0亿t的速度增长^[1]。大型正规矿山的尾矿多采用尾矿库存放的方式处理,随着矿山规模的扩大和开采历史的延长,土地占用面积不断扩大,尾矿库修筑和管理费用会不断增加;中、小型非正规矿山尾矿设施简陋,或根本就不建尾矿库,尾矿一般就近排入河沟、河谷或低洼地。因输送管道泄漏或直接外排等事故造成地表水污染,尾矿扬尘使土地沙化造成农田减、绝产等事件时有发生,给人们生产、生活及生态环境带来了严重污染和危害,已受到全社会的广泛关注。

矿产是人类赖以生存的重要资源,具有不可再生性和不可替代性,是我国工业发展的基础。我国90%以上的能源和80%左右的工业原料都来源于矿产资源。我国矿产大多数呈多组分(伴)生,且一般品位较低,加上选矿设备陈旧、老化现象严重,技术、自动化和管理水平较低,导致有用矿物回收水平普遍较低,开发利用率不高,资源损失和浪费严重。随着我国工业的健康稳定发展,矿产资源的大量开发和利用,需求量日益增加,资源日渐贫乏,尾矿作为二次资源近年来越来越受到重视。《中国21世纪议程》已把“尾矿的处置、管理及资源化示范工程”列入了优先领域的优先计划,国家发改委、科技部和环保总局把尾矿资源综合利用列为国家鼓励发展的资源节约综合利用和环境保护项目,说明我国把尾矿资源的开发利用提高到了相当重要的位置。目前,我国尾

矿的综合利用率仅为7%,与国外综合利用率为60%的先进水平相距甚远^[2],但在资源回收和尾矿利用上做了很多尝试,而且很多研究成果已经得到工业化应用。随着科学技术的不断提高和进步,从我国实际出发,大力开发尾矿,使二次资源得到充分的开发和利用,对保护和改善生态环境,提高矿产资源利用率,促进矿山可持续发展意义重大。

1 原主要矿物回收

改革开放以前,我国的选矿工艺技术远落后于发达国家。由于当时的技术经济条件所限,与现在相比选矿回收率低,选矿厂排放的尾矿品位普遍较高,有些尾矿可以作为二次资源进行回收。

1.1 黄金尾矿回收

我国黄金矿山主要采用浮选+氰化生产工艺。在20世纪70~80年代,因生产技术落后,回收率普遍较低,尾矿金品位大多数在1g/t以上,技术水平低的矿山尾矿金品位能达到2~3g/t;对于品位高和难选冶的金精矿,尾矿金品位高达3~5g/t,有些甚至更高。随着黄金资源的贫乏和选冶技术水平的提高,这部分高品位老尾矿已成为黄金矿山新的资源。

银洞坡金矿于1996年开始采用全泥氰化-炭浆提金工艺处理老尾矿,金浸出率86.5%,银浸出率48%。银洞坡金矿现有金品位大于2.5g/t的尾矿38万t,可供炭浆厂生产4~5年,预计可回收黄金760kg,白银5t,价值7000余万元^[3]。

河南金源黄金矿业有限责任公司采用重选工艺处理浮选尾矿,其中溜槽月产金精矿450t,品位3.5g/t;摇床月产金精矿60t,品位16g/t以上。重选尾矿得到的金精矿经细磨后用浮选法回收金,月回收黄金2.5kg以上。按合质金91.20元/g、含量金67.20元/g、平均79.20元/g计算,年可获经济效益153万元^[4]。

乌拉嘎金矿每年产生氰化尾矿近3万t,金品位7g/t,硫品位20%左右。针对尾矿中微细粒金被黄铁矿包裹的特点,采用旋流器脱泥富集、压滤机压滤、干矿焙烧制酸、烧渣再磨后氰化工艺流程进行处理,烧渣中金浸出率达65%左右,年回收黄金91.8kg,生产硫酸1.8万t,年新增利润746.6万元,为企业带来了可观的经济效益^[5]。

新疆金矿采用浮选工艺处理金矿尾矿,以碳酸钠作pH调整剂,硫酸铜作活化剂,金浮选率达69%,处理1万t尾矿可回收黄金3kg,经济效益显著^[6]。

1.2 铜尾矿回收

安庆铜矿日处理原矿3500t,每年产生尾矿72万t。其中, $\geq 20\mu\text{m}$ 粒级送到充填储砂仓,用于井下充填; $< 20\mu\text{m}$ 粒级通过明槽或管道排至尾矿库。尾矿中剩余有用组分见表1。

表1 尾矿有用组分化学分析结果

组分	总尾砂	粗尾砂($\geq 20\mu\text{m}$)	细尾砂($< 20\mu\text{m}$)
Cu	0.119	0.143	0.07
Fe	11.0	9.76	14.45
S	2.13	2.36	1.67

由于铜矿物主要富集于粗尾砂中,因此对粗尾砂进行了粗选,粗精矿细磨后再进行精选。铜选厂日产品位16.94%的合格铜精矿2.56t。铁矿物主要集中在细尾砂中,通过对细尾砂进行一粗一精选,铁选厂年产品位63%的铁精矿4.35万t,加上铜选厂年产铜130t,年产值近2730万元,年利润2300万元,经济效益十分可观^[7]。

1.3 铁尾矿回收

我国铁矿资源中贫矿占97.8%,现有铁矿资源满足不了国内需求,宝钢、鞍钢等大型钢铁企业需靠进口矿石进行生产。因生产技术落后,铁选厂老尾矿中含铁普遍较高,回收老尾矿中的铁资源已成为大型钢铁企业的普遍选择。

鞍山铁矿有7个大型选矿厂,11个尾矿库。至1995年5月累计排放尾矿7.7亿t,年排放量约2700万t,尾矿中含铁8%~16%。目前,为了回收铁普遍建立了再选车间^[8]。

鞍山地区一些磁铁矿尾矿,仍含铁20%,经强磁选机回收可获得品位达60%的铁精矿。马鞍山矿山研究院与本钢歪头山铁矿采用HS- $\phi 1600 \times 8$ 型磁选机对铁矿石尾矿进行再磨再选,可获得品位高达65.76%的优质铁精矿,年产铁精矿量达3.92万t,经济效益良好^[9]。

2 伴生矿物回收

我国矿产资源中共(伴)生矿物较多,在浮选过程中伴生矿物也会得到一定程度的富集,尾矿一般都有较高的品位,具有一定的回收价值。如金矿物中常常伴生铜、锌、铅、铁、硫等,有相当数量的尾矿中铅品位>1%,硫品位>8%,铜品位>0.2%,铁品位>10%。

2.1 铜回收

老柞山金矿氰化尾矿含铜0.305%、含砷2.08%,粒度<0.074mm占95%。采用技术较为先进的浮选工艺直接从氰化尾矿浆中抑砷浮铜,获得了铜18.32%、金9.69g/t、银99.2g/t、硫33.6%、砷0.07%的合格铜精矿,铜回收率达89%^[10]。

2.2 钨回收

水平铜矿开展了从尾矿中回收钨的试验研究,采用溜槽—磁选—浮选—摇床的联合工艺流程,获得的钨精矿品位达到66.83%,年产钨精矿339.3t、硫精矿1584t,年产值达664.8万元,年利润172.8万元^[11]。

2.3 铁回收

安康金矿根据尾矿特性,采用磁选—重选联合工艺对尾矿进行再选,先采用两段干式磁选工艺从尾矿中分选磁铁矿、赤铁矿及钛铁矿与石榴石的连生体,再用摇床分选尾矿中的金。每年可从尾矿中回收铁精矿1700t,回收金2.187kg,年共创产值44.12万元^[12]。

龙头旺金矿于1990年起从尾矿中回收铁,每年回收品位为60%的铁精矿1076t。

2.4 回收硫

武山铜矿对尾矿进行再选回收硫,获得的硫精矿品位36.83%,回收率89.42%,年处理尾矿达350万t,年创利润可达283万元^[11]。

3 尾矿直接利用

固体废物常常被称为是“放在错误地点的原料”,这已是公认的事实。从物质不灭定律和人类开发利用生态环境赖以生存的角度分析,所有的固体废物都可以再利用,参加下一个物质循环^[13]。从这一观点看,尾矿本身具有明显的资源特性。

尾矿整体利用的开发是矿山实现少尾和无尾化过程的最有效途径,是矿山实现尾矿资源化、无害化最有前景的发展方向。尾矿整体利用不仅可以使矿产资源得到充分利用,解决生态环境污染问题,还可以产生可观的经济效益。

3.1 尾矿充填

开采矿产资源时地下形成采空区。采空区的存在使岩体的应力发生重新分布。在采空区的周边产生应力集中,使空区顶板、围岩和矿柱发生变形、破坏和移动,甚至出现顶板冒落和地表塌陷。因矿山开采诱发的地面崩塌、滑坡、塌陷等地质灾害和安全事故已十分普遍,是安全生产的重大隐患。用充填法采矿时,采空区随矿石的采出而被充填,是保护围岩不发生塌落,实现采矿工业安全生产与环境协调发展最可靠的技术支持。

采用充填法的矿山每开采 1t 矿石需回填 0.25 ~ 0.4m³ 或更多的充填料,尾矿是一种较好的充填料,可以就地取材、废物利用,节省了采集、破碎、运输等生产充填废石的费用,而且有利于保护生态环境。一般情况下,用尾矿作充填料,充填费用仅为碎石充填费用的 1/4 ~ 1/10。

我国现行的尾矿充填技术是以分级的尾矿作为充填填料充入井下采空区的一种方式。但是,普遍存在设备投入大、原材料成本高、脱水速度慢、水泥凝结慢、早期强度低、接顶率低等缺陷。目前,较先进的充填技术基本上是以早强快硬型水泥熟料或普硅熟料与活性混合材料或非活性混合材料以及速凝添加剂、膨胀材料、增塑材料、保水材料共同粉磨生产低标号胶凝材。此类胶凝材各项性能虽得到改善,但还存在熟料用量大,强度低,制作成本高等缺点,无法生产低成本 32.5MPa 水泥。以全尾砂充填时,水泥凝胶材用量往往超过 15% 甚至达到 25%,导致充填成本难以降低。

全尾矿充填技术主要是以少量低成本水泥以及高浓度不分级的全粒级尾矿作为充填填料充入井下采空区的一种方法。其核心技术是大幅降低水泥制作成本,调整充填技术要求,每吨充填 32.5MPa 水泥可比市场同标号水泥降低 30 ~ 100 元,其 3d、7d 和 28d 抗折、抗压强度均超过国家普硅 32.5MPa 水泥标准,并改善了充填性能,减少了设备投入。

铜陵有色金属公司实施了尾矿充填,取得了良好的社会效益和经济效益,目前正在开展全尾砂充填研究。凡口铅锌矿和焦家金矿利用尾矿作采空区充填料,尾矿利用率分别达到 95% 和 50% 以上。

3.2 生产干粉砂浆

干粉砂浆是由细集料与无机胶合剂、保水增稠材料、矿物掺合料和添加剂按一定比例混合而成的一种颗粒状或粉状混合物。通俗地说,主要有黄沙、水泥、保水增稠剂、粉煤灰和添加剂组成。其中,黄沙要筛选一定粒度并烘干水分,水泥用普通硅酸盐水泥即可,保水增稠材料占总量的 2% ~ 3%,可掺入粉煤灰

占总量的 10% 左右。另外,可根据品种要求加入早强剂、快干剂等添加剂。

干粉砂浆已成为世界建材行业中发展最快的一种新产品,在欧美一些发达国家得到广泛应用,基本取代了传统技术。目前,在韩国、日本、新加坡等国家都有大规模的专业干粉砂浆生产厂,市场上干粉砂浆的种类也非常丰富。国内在干粉砂浆的应用上处于起步阶段,国家建设部已经认识到干粉砂浆在未来中国市场上的前景与价值,把它列为重点开发和鼓励的项目之一。

全尾矿干粉砂浆是由尾矿(细集料)与胶凝材、保水增稠材料、添加剂按一定比例混合而成的一种颗粒状或粉末状混合物。主要有尾矿、水泥、添加剂组成。其中,干尾矿占 60% ~ 85%,水泥占 5% ~ 20%,保水增稠剂占 2% ~ 3%。可根据品种要求加入早强剂、快干剂等添加剂。

3.3 生产硅酸盐水泥

尾矿作为配料用于生产硅酸盐水泥技术日臻成熟,在不改变传统生产工艺的情况下,可直接应用于旋窑、立窑水泥的生产,尤其适合立窑水泥熟料的生产。根据尾矿性质和水泥生产工艺的不同,尾矿使用量可达到 20% ~ 50%,水泥产品各项物理指标完全达到并超过 32.5MPa 型硅酸盐水泥标准要求,而且具有易磨性好、改善安定性、缩短安定期、提高早期强度、保持后期强度、改善凝结时间等优点。以年产 10 万 t 水泥生产企业为例,水泥配料中使用 20% ~ 50% 的尾矿,年可增加纯利润 100 ~ 150 万元,不仅经济效益显著,还可为矿山和水泥企业带来显著的社会效益和环境效益。

3.4 生产建筑材料

目前,利用尾矿制砖技术日趋成熟,而且品种繁多,如制作烧砖、免烧砖、墙地砖、铺路砖、空心砖等。制作烧砖尾矿用量大,生产效率高,可用于墙体材料使用。一般采用挤压成型,经干燥、1000℃ 左右烧结后,抗压强度 > 15MPa,合格率 87% ~ 95%;规格 240mm × 115mm × 53mm 的烧砖,生产成本仅 0.10 ~ 0.15 元/块,而且尾矿使用量 70% ~ 80%。制作免烧砖需加入 6% ~ 12% 的水泥,10% ~ 15% 的改性尾矿,30% ~ 85% 的原尾矿;一般采用压制成型,经过 28d 的自然养护后,规格 240mm × 115mm × 53mm 的免烧砖强度达到 14.2MPa,规格 240mm × 115mm × 90mm 的多孔砖强度达到 5.7 ~ 13MPa。山东建材学院利用焦家金矿尾矿和少量当地廉价粘土,研制出符合国家标准化的陶瓷砖和地砖。丹东市建材研究所利用金矿尾渣加入塑性较好并带有颜色的黏土原料,经烧结制成一种新型建筑装饰材料——废矿渣饰面砖,

密度 2.19 g/cm^3 , 吸水率 6.07% , 抗折强度 26.85 MPa , 抗冻性、耐急冷急热性、耐老化性均达到规定标准。

尾矿可用于制作混凝土制品, 利用改性后的尾矿制作混凝土制品, 可等量取代水泥凝胶材 $30\% \sim 60\%$, 取代细骨料 $30\% \sim 50\%$, 生产的混凝土制品具有性能稳定、质量优良、成本低廉等优点, 适用于路沿石、挡土石、涵管、道板、水泥板、水泥管等预制构件的生产。

3.5 尾矿复垦

我国矿山企业很多, 每年都有相当数量的尾矿库闭库。干涸的尾矿库极易产生扬尘, 当风速较大(大于 4 m/s)时可能产生沙尘暴, 甚至可将尾矿库内自生或种植的植物连根拔起, 是矿区大气中 TSP 指标的主要污染源, 对环境污染严重。对服务期满的尾矿库进行复垦, 不仅可以解决环境污染问题, 而且可以增加土地或绿化面积, 有利于尾矿库的长期稳定。尾矿本身也是一种资源, 复垦后可以将其更好地保护, 以便将来利用。

尾矿复垦一般有两种方法: 一种是在尾矿砂表面覆盖一层厚度适宜的土壤, 然后种植适宜的植物。这种方法虽然有效, 但需要大量的“好土”, 取土、运输、覆盖等一系列工作使这种方法费时费力, 而且成本较高, 对于土地贫乏的地区难以推广应用。江苏某铝铜矿 1977 年将服务期满的尾矿库覆土造田, 方法是将尾矿砂平整后铺上 7 cm 厚的一层地表土, 当年亩(1 市亩 = 666.67 m^2)产蔬菜 200 kg 。鞍山烧结厂将尾矿库覆土造田后种植水稻, 当年亩产达 250 kg ^[14]。采用这种方法初次收获的粮食、蔬菜、水果等应送有关部门检验鉴定, 以确定是否可以食用。若不宜食用, 可作为饲料或工业原料, 或改为林地或草场。另一种方法是直接在尾矿上种植耐旱、耐风沙植物进行复垦, 恢复植被。金厂峪金矿于 1988 年涝雨季节在老尾矿坝播种牧草打旺, 这是一种耐寒、耐风沙的牧草, 施以 0.075 kg/m^2 的草籽, 到 1990 年后尾矿坝植被覆盖率已达 95% 以上, 牧草平均高 80 cm , 最高

达 150 cm 。此方法投资少、见效快、简便易行, 又为周围农民饲养牲畜提供了很好的饲料^[15]。

4 结 语

数量庞大而且不断增长的尾矿已成为制约我国矿山企业可持续发展、危及矿区周边生态环境的重要因素。在矿产资源日趋贫乏、地质资源日渐枯竭、环境意识日益增强的今天, 二次资源的开发利用尤显重要, 尾矿资源回收和利用已成为矿山可持续发展的必然选择。依靠科技进步, 从矿山条件和尾矿特点出发, 以资源化、无害化和循环经济为原则开展尾矿资源回收和利用, 就会达到人类、环境、资源可持续发展的目的, 实现环境效益、经济效益与社会效益的统一, 最大限度地实现尾矿资源化。

【参考文献】

- [1] 朱胜元. 尾矿综合利用是实现我国矿业可持续发展的重要途径[J]. 铜陵财经专科学校学报, 2002(1): 38~40.
- [2] BΦ 贝佐夫, Φ 埃特-图哈末. 世界铁矿石开采及其预测[J]. 国外金属矿山, 1995(1): 1~2.
- [3] 张锦瑞, 王伟之. 金属矿山尾矿综合利用与资源化[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002. 9.
- [4] 王改超, 刘书军. 从浮选尾矿中回收金的生产实践[J]. 黄金, 2004, 25(9): 41~42.
- [5] 杨宝成, 任淑丽, 宋殿举. 浮选金精矿氰化尾矿的综合利用[J]. 黄金, 2004, 25(3): 33~35.
- [6] 胡善友, 崔耀忠. 某金矿尾矿的浮选工艺试验研究与实践[J]. 黄金, 2004, 25(12): 42~44.
- [7] 秦仁高. 利用废矿尾矿 再获钢铁资源[J]. 有色金属(矿山部分), 2005, 57(4): 47~48.
- [8] 刘尽鸿. 合理开发利用尾矿是矿业经济增长的新途径[J]. 中国地质, 2000(1): 21~25.
- [9] 张淑会, 薛向欣, 刘然, 等. 尾矿综合利用现状及展望[J]. 矿冶工程, 2005, 25(3): 44~47.
- [10] 汪晴珠, 许宏林. 黄金选矿厂尾矿治理问题的探讨[J]. 国外金属矿选矿, 1996, 33(4): 31~33.
- [11] 刘维刚. 加强尾矿综合利用研究 合理回收二次资源[J]. 金属矿山, 1998(9): 42~44.
- [12] 艾满乾. 陕西月河砂金选矿厂尾矿的综合利用[J]. 冶金矿山设计与建设, 1997, 29(9): 46~49.
- [13] 庄伟强. 固体废物处理与利用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [14] 焦绪国, 刘学杰. 黄金矿山尾矿库复土造田[J]. 黄金, 2004, 25(1): 46~47.
- [15] 王伟之, 张锦瑞, 邹汾生. 黄金矿山尾矿的综合利用[J]. 黄金, 2004, 25(7): 43~45.

The recovery and utilization of tailings

Wang Hongwei¹, Zuo Yuming², Chai Xinxin³

(1. Jilin Huanke Environmental Protection Co., Ltd.;

2. Changchun Gold Research Institute; 3. Jilin Provincial Xinghuan Co.)

Abstract: The characteristics of the domestic resources are analyzed, and the method and ways of recovering and utilizing tailings are introduced. A good economic benefits, environmental benefits and social benefits can be obtained, and the sustained development of mines can be expected.

Keywords: mine; tailing; resources; recovery and utilization; benefits

(编辑: 赵玉娥)