

我国铜矿尾矿资源化利用技术现状及进展

郭万进¹, 吴明海², 王阳³, 邓伟⁴, 王晓慧⁴, 毛益林⁴

(1. 白玉县银兴矿业有限公司, 四川 甘孜州 626000; 2. 四川鑫源矿业有限责任公司, 四川 甘孜州 626000; 3. 巴彦淖尔西部铜业有限公司, 内蒙古 巴彦淖尔 015000; 4. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 中国地质调查局金属矿产资源综合利用技术研究中心, 四川 成都 610041)

摘要:这是一篇矿业工程领域的论文。我国铜矿尾矿资源主要集中在华东地区、西南地区及中南地区, 以干式堆存于排土场或湿排于尾矿库, 由于缺乏多梯度多方向的利用模式, 给矿区周边环境及安全带来极大的威胁。加强国内铜矿尾矿资源化利用技术攻关, 实现其规模化消纳, 是保障矿区资源与环境安全的重要举措。本文介绍了铜矿尾矿资源概况及分布, 综述了铜矿尾矿在有价元素回收、建筑材料、充填、复垦等方面的利用现状, 并对铜矿尾矿资源利用存在的问题进行了探讨与合理开发利用进行了展望, 为铜矿尾矿资源化技术的进一步研究及应用提供参考依据。

关键词:矿业工程; 铜矿尾矿; 资源化利用; 有价元素回收; 建筑材料; 复垦

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2023.05.022

中图分类号: TD989 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2023) 05-0127-08

尾矿是选矿厂在特定经济技术条件下, 将矿石破碎、筛分、研磨、分级, 再经重选浮选或氰化等选别工艺流程, 选出有用金属后有用成分含量很低的剩余部分产物称之为尾矿。一般而言, 化工、黑色金属矿山中尾矿量占矿石总量的 50%~80%, 有色金属矿山中尾矿量会占到 70%~95%, 而金、铝、钨、钼和铌等稀有金属矿山中尾矿量则高达 99% 以上^[1]。

尾矿一般是由选矿厂排放的尾矿浆经自然脱水后所形成的固体矿业废料, 它是固体工业废料的主要组成部分, 其中含有一定数量的金属和非金属, 可视为一种“复合”的硅酸盐、碳酸盐等矿物材料, 并具有粒度细、数量大、成本低、可利用性大的特点。

目前我国大量堆存的尾矿对环境造成较大的负面影响, 其表现主要有以下几个方面: 一是占用大量土地, 减少了今后开垦耕种的后备土地资源; 二是造成了资源的严重浪费^[2]; 三是造成严重的环境污染。尾矿自身带有超标污染物或有害组

分, 在选矿过程中又加入的各种化学药剂残存在尾矿当中, 在没有经过处理情况下, 直接堆放在地表, 易严重污染周围环境。流经尾矿堆放场所的地表水, 通过与尾矿相互作用, 溶解某些有害组分, 并携带转移, 扩大了污染面, 甚至有些矿山的尾矿直接排入湖泊河流中, 直接造成水体污染, 河道堵塞, 造成大面积的生态破坏和环境污染^[3]; 四是造成严重的安全隐患。尾矿堆存时易流动和塌漏, 造成植被破坏和伤人事故, 尤其在雨季极易引起塌陷和滑坡。因此, 如何有效地解决尾矿问题成为摆在矿区及全社会面前的重要课题。

鉴于此, 本文以铜矿为例总结了铜矿尾矿资源概况及分布区域, 重点阐述了我国铜矿尾矿资源利用现状, 并对铜矿尾矿资源利用存在的问题进行了探讨与合理开发利用进行了展望。

1 铜矿尾矿资源概况

2021 年, 我国尾矿总生产量约为 14.19 亿 t, 其中, 铁矿生产量最大, 约为 6.11 亿 t, 占尾矿总

收稿日期: 2023-02-08

基金项目: 四川省重点研发项目 (2022YFS0455、2022YFS0453)

作者简介: 郭万进 (1974-), 男, 工程师, 专科, 主要从事矿物加工生产实践工作。

通信作者: 吴明海 (1984-), 男, 工程师, 主要从事复杂多金属硫化矿选矿工艺研究与实践工作。

生产量的 43.04%；其次为铜尾矿，产生量约为 3.92 亿 t，占 27.63%；黄金尾矿 161 亿 t，占 11.33%；其他有色金属尾矿产生量约为 1.35 亿 t，非金属尾矿产生量约为 1.21 亿 t^[4]。2011-2021 年我国铜矿尾矿产生量变化情况见图 1。

2019 年我国铜矿尾矿主要产生区域在华东地区，大约占全国总排放量的 34.4%；其次是西南地区，约占全国总量的 18.4%；第三是中南地区，约占 17%。分省看，我国铜尾矿主要分布在江西德兴市、内蒙古赤峰市、甘肃白银市、安徽铜陵市和湖北大冶市等地区等。铜矿尾矿主要排放区域见图 2。

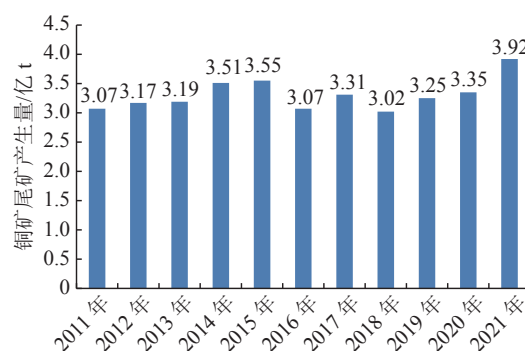


图 1 2011-2021 年铜矿尾矿产生量变化情况

Fig.1 Variation of copper mine tailings production from 2011 to 2021

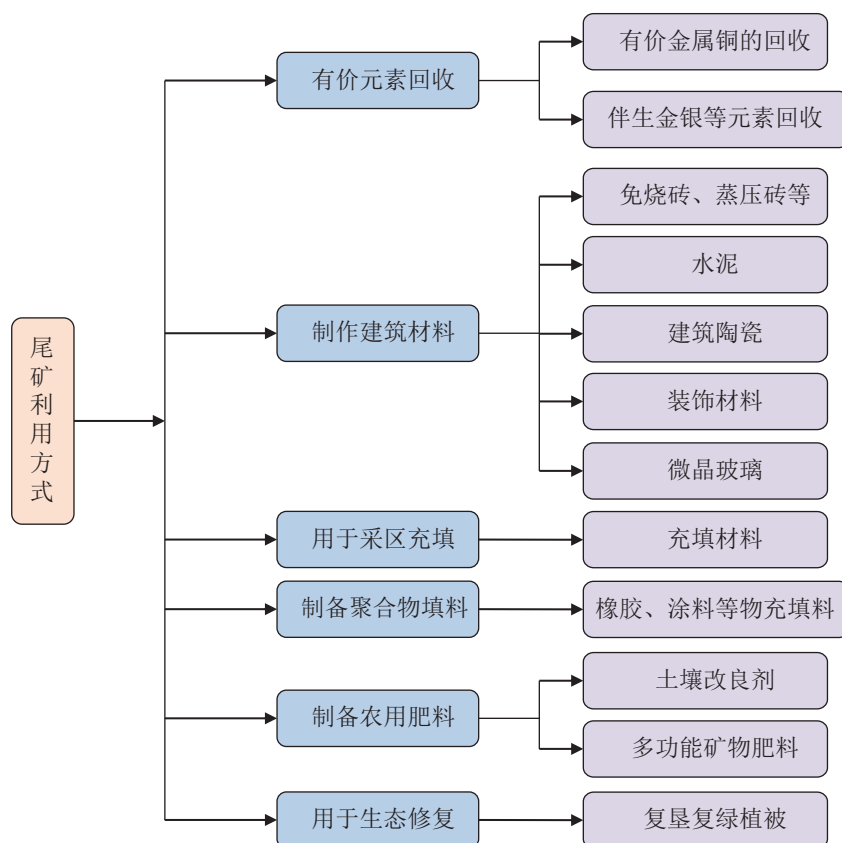


图 2 铜矿尾矿利用领域结构示意图

Fig.2 Schematic of copper mine tailings utilization area

2 铜矿尾矿资源利用现状

2.1 国外铜矿尾矿资源利用现状

随着世界可开发利用矿产资源日益减少，原矿品位日趋贫化，尾矿作为二次资源加以开发利用变得极为重要，特别是进入 20 世纪 60 年代以来，许多发达国家出台一系列政策鼓励包括尾矿在内的固废资源综合利用。由于政府的重视和政

策措施得力，这些国家的尾矿开发利用成效显著。国外尾矿的利用率可达 60% 以上，德国包括尾矿在内的各种工业废料的利用率已达 80% 以上，欧洲一些国家已向无废物矿山目标发展。

2.1.1 研制造、冶新工艺，回收各种有用组分

前苏联、东欧、美国、加拿大、英国、德国等发达国家针对尾矿资源的特点，开展选、冶新

工艺和新设备的研究,建立了一批二次选矿厂,从尾矿中再选了大量有用组分。如哈萨克斯坦巴尔喀什选矿厂采用浮选、再磨和精选流程,从尾矿中回收铜和钼,并得到绢云母精矿;美国采用药剂和细菌浸出法从尾矿中回收铜、金等组分,回收的铜已占其铜总产量的10%。智利楚基卡马塔铜矿山采用大浸出槽硫酸浸出一电解工艺,从堆存多年的尾矿中回收铜,每年从中产出铜5.25万t,已从尾矿中累计回收铜90万t。

2.1.2 研发尾矿新材料和新产品,高效整体利用尾矿

利用从尾矿中选出的组分,特别是某些非金属组分,进行深加工,开发其某些特殊性能,制造高附加值产品。国外许多功能陶瓷、复合陶瓷、化工产品等有一部分是从尾矿中再选矿物深加工获得的。

尾矿的整体利用很大部分是应用于建材工业中,作为建材原料。因为尾矿是矿石经过选矿过程中的破碎、磨矿、分选等工序的产物,矿物多为粒径<0.5 mm的细小颗粒,与传统建筑用砂、建材粘土、陶瓷玻璃原料组分很接近,稍加以调配即可用于生产。如高硅尾矿($\text{SiO}_2>60\%$)可用作建筑材料、公路用砂、陶瓷、玻璃、微晶玻璃花岗石及硅酸盐新材料原料。例如,乌克兰将某矿山积存的5亿多t尾矿适当分级后用作混凝土的粗细骨料外,还用细粒级的尾矿生产硅酸盐建材制品。俄罗斯某矿山建起了以尾矿为主要原料的水泥厂和玻璃厂。加拿大魁北克矿山用磨细的尾矿烧制出耐火硅砖。美国绝大多数尾矿被用作混凝土填料和铺路材料,以及用铁燧石岩尾矿制成轻质砖。日本将铁尾矿与10%的硅藻土混合,烧制成轻质骨料等^[5]。

2.2 国内铜矿尾矿资源利用现状

铜矿尾矿虽然是矿山产生的固体废弃物,但它也是一种有用的宝贵资源。目前全国每年产生3亿多t铜矿尾矿,堆存有几十亿t,数量巨大,尾矿利用率较低。

我国的尾矿综合利用研究起步较晚,研究程度和实际利用水平都明显落后于某些发达国家,基本处于起步阶段。大多停留在仅仅回收有价金属元素的阶段,即使有少量研究者和企业利用尾矿生产建筑材料、填料等,但因其数量规模较

小,尚达不到对尾矿规模化消纳利用的目的。

目前,以铁矿、铜矿尾矿资源为代表的矿山尾矿开发利用和环境综合治理已受到我国政府部门的高度重视。20世纪80年代以来,我国政府和有关部门陆续颁布了《关于开展资源综合利用若干问题的暂行规定》、《中华人民共和国矿产资源法》、《全国环境保护工作纲要》和《中国21世纪议程》等一系列涉及尾矿资源环境问题的法规和政策性文件,强调了尾矿的资源性和对环境的危害性,以及其开发利用的重要性。工业和信息化部、科技部、国土资源部、国家安监总局等有关部门组织编制了《金属尾矿综合利用专项规划(2010-2015)》,首次以规划的形式明确了尾矿综合利用的重点领域、重点技术与重点项目,为整体推动金属尾矿资源综合利用勾绘了蓝图^[6]。国家发展改革委等十部委出台的《关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见》进一步明确了尾矿利用的方向及政策支撑,推动了我国对尾矿资源的开发利用和对环境的综合治理。

目前,国内在铜矿尾矿方面利用领域见图2。

2.2.1 有价元素回收

过去铜矿回收领域由于选矿工艺技术、设备等因素的局限,通常排放的尾矿中流失有较多的各种有色金属、黑色金属、稀有金属和非金属矿物等组分,造成了资源的极大浪费。随着社会的发展,过去不能利用而被丢弃的尾矿现在可依靠科技进步加以回收利用^[7]。同时,铜矿尾矿因为多呈颗粒细小的粉末状,在对其进行有价元素回收时可以直接进行再选,能节省磨矿工艺中的能耗,降低再回收的生产成本,增加企业的经济效益。

江西铜业集团的德兴铜矿攻克“含铜废石”堆浸技术难关,研发了“微生物堆浸电萃取-电积”提铜技术,最大限度地利用了铜资源,形成了规模化生产,达到世界先进水平,铜、金、银的回收率分别达86.60%、62.32%、65.09%,采用水力旋流器对铜尾矿进行分级及重力选硫,年回收硫精矿1000t,铜9.2t,金3.4kg,产值达1300多万元^[8]。

甘肃白银集团在五十多年的矿业开发过程中,白银公司产生了大量的废石、废渣、尾矿。第一尾矿库、第二尾矿库、多金属尾矿库及其他

小尾矿库堆存铜选矿尾矿总量超 5000 余万 t, 其中含硫选矿尾矿约 2000 多万 t。露天矿废石堆场现存含铜 0.2% 以下低品位废石 9300 万方, 约 2.5 亿 t。白银公司开展了固体废弃物的综合利用, 但综合利用率不高。利用方式主要是利用锌熔铸浮渣回收尾矿氧化锌生产超细高活性氧化锌; 利用选矿尾矿作为井下充填材料, 年利用量 18 万 t; 利用选矿尾矿生产新型墙体材料小型空心砌块和装饰砌块, 年利用尾矿量 10 万 t。

李广^[9]等针对福建某选铜尾矿, 采用“两粗两精-粗精矿再磨再选”工艺获得含硫 48.78% (有效硫 46.29%)、回收率为 50.39% 的优-II 级硫精矿, 再通过“再筛分”获得含硫 51.83% (有效硫含量 >48%)、作业回收率 66.02% 的优-I 级硫精矿, 大幅度提升了硫精矿的综合回收率, 同时也提高了硫精矿资源附加值。

吴迪等针对内蒙古某多金属矿浮选尾矿中未能有效回收的萤石资源, 通过预先磁选抛废提高萤石入选品位, 采用有机抑制剂 HG-1 代替酸化水玻璃, 在原料 CaF_2 品位 17.65% 的条件下, 获得 CaF_2 品位 97.26%, 回收率 63.15% 的高品质萤石精矿, 实现了该尾矿中萤石资源的综合回收^[10]。

李纪^[11]等以湖北某尾矿为研究对象, 采用 CCF 浮选柱回收尾矿中的铜, 经过一次粗选一次扫选和两次精选作业, 可从含铜 0.38% 的尾矿中获得铜品位 16% 以上, 铜回收率 76% 以上的铜精矿, 实现矿产资源综合回收利用。

2.2.2 制作建筑材料

尾矿是一种复合型矿物原料, 颗粒细而均匀, 一般尾矿粒度 <0.074 mm 的量占总量的 50%~75%, 其组成和物化性质与建筑材料在工程特性等方面有很多相似之处, 这为尾矿在建筑材料方面的应用创造了条件。将其分级分类后可用尾矿生产建筑材料, 如水泥、混凝土集料、硅酸盐尾矿砂砖、溶渣花砖、瓦、微晶玻璃、加气混凝土、铸石、泡沫材料、陶粒、泡沫玻璃和耐火材料等, 具有广阔的前景, 是尾矿综合利用的有效方法^[12]。

(1) 制作砖瓦等建筑材料

利用铜尾矿制备砖瓦具有工艺简单、投资少、见效快等优点, 其对铜尾矿的消纳发挥积极作用。赵风清^[13]等对铜尾矿制蒸养标准砖进行研究, 利用铜尾矿, 结合粉煤灰, 在碱性复合激发

剂存在的情况下, 通过湿热养护工艺制成承重标准砖, 产品抗压强度达到 18.1 MPa, 抗折强度达到 3.6 MPa, 具有良好的抗冻融性和稳定性。

冯启明^[14]等以四川某铜尾矿为原料, 添加适量的水泥、石灰、混凝土发泡剂和废弃聚苯泡沫粒, 成功制备了轻质免烧砖; 对免烧砖进行性能测试后发现, 当尾矿用量达到 70%~80% 时, 免烧砖的抗压强度为 3.6~10.4 MPa, 符合建筑物承重和非承重砌块的使用要求。

(2) 用作水泥、混凝土原料

水泥生产企业在生产中常要加入硅料、钙料等含硅含钙矿物作为水泥生产原料, 而铜矿尾矿中多含有硅酸盐矿物, 可作为水泥硅料的原料使用。

施正伦^[15]等对铜尾矿按质量比为 5% 的掺量配制水泥生料, 在实验室高温炉不同温度条件下进行水泥熟料煅烧, 结果显示, 添加铜尾矿能降低水泥熟料烧成能耗, 减少水泥生产成本, 提高熟料产量和质量。

林海威^[16]等将云南省某铜尾矿库的铜尾矿磨细后作为掺料等量取代水泥胶凝材料掺入透水混凝土中, 并对其性能进行了研究, 结果表明: 当铜尾矿的掺量小于 5% 时, 混凝土立方体的抗压强度随着铜尾矿掺量的增加而增大; 当掺量达到 5% 时, 28、60 d 透水水泥混凝土立方体抗压强度达到最大, 分别为 24.0、24.5 MPa; 继续加入铜尾矿, 其抗压强度反而减小。

陈杜娟^[17]等以甘肃某选铜尾渣为研究对象, 采用硫浮选-浮选尾矿脱泥-石英反浮选的工艺方案对其进行了综合回收, 所得硫精矿可销售至硫酸厂, 石英精矿可作冶炼渣原料, 尾矿可作烧制硅酸盐水泥的原料, 实现了该尾矿资源的全综合利用。

(3) 制作微晶玻璃

微晶玻璃是指将含有成核剂的特定组成的基础玻璃通过熔融法、烧结法、溶胶-凝胶法等使其玻璃相与微晶相均匀分布的无机非金属材料, 具有机械强度高、耐磨、化学性质稳定等优良特性, 可应用于建筑装饰材料、研磨设备等。铜矿尾矿因与微晶玻璃具有相似的化学组成, 都含 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 K_2O 、 Na_2O 等成分, 故可用来制备微晶玻璃。

刘倩^[18]等针对商洛某铜尾矿，以 Cr_2O_3 为晶核剂，研究了不同烧结温度对铜尾矿制备微晶玻璃性能的影响。并对试样的密度、莫氏硬度、抗压强度以及耐腐蚀性进行测试。结果表明：烧结后试样的密度、抗压强度、以及莫氏硬度的变化趋势都是随着温度的上升，先增大后减小；试样的耐酸碱性随着烧结温度的上升，也先增大后减小，当烧结温度为 $1100\text{ }^\circ\text{C}$ 时，各项性能较优。

南宁^[19]等采用烧结法以某尾矿库现存尾矿为主要原料制备微晶玻璃。对基础玻璃熔制较佳工艺进行了优化，并探究晶化温度和保温时间对微晶玻璃的抗压强度、密度以及热膨胀系数的影响，为当地的尾矿资源化开辟一条新途径。

(4) 制作陶瓷

尾矿中含有大量的硅酸盐矿物，富含 SiO_2 和 Al_2O_3 ，此外还含有 Fe_2O_3 、 CaO 、 Na_2O 和 K_2O 等低熔点成分，具有作为陶瓷坯体瘠原料和熔剂原料的基础，可生产尾矿釉面砖等陶瓷制品。利用尾矿生产陶瓷制品，不但可以充分利用废弃尾矿，缓解对生态环境的破坏，还可大大改善陶瓷材料的隔音、隔热性能。丁向群^[20]等利用铜尾矿为主要原料，以磷酸盐为主的无机液体黏结剂、碳粉为主的固体发泡剂、金属氧化物和金属氢氧化物为固化剂，通过调整各原料的用量，在 $900\text{ }^\circ\text{C}$ 时成功制备出轻质陶瓷材料。

2.2.3 用于采空区充填

采用充填法的矿山每采一吨矿石需回填 $0.25\sim 0.4\text{ m}^3$ 或更多的充填材料，矿山采空区的回填是直接利用铜尾矿最行之有效的途径之一。该方法具有来源充足、物流快速和就地取材等优点，并且还能省掉增建、扩建尾矿库的费用。目前，矿山充填经历了干式充填、水力充填、胶结充填以及膏体充填阶段。近年来我国金属价格回升，充填技术得到了迅速的发展，新建矿山多采用充填式采矿，真正实现了“无尾矿山”。

中国甘肃的金川公司曾进行了一系列尾砂充填实验，包括全尾砂和细砂二合一充当骨料、分级尾砂用作胶凝充填骨料、全尾砂胶凝充填等实验。实验结果表明，尾砂在低掺入浓度以及全水速凝条件下充填效果较好，可有效解决井下充填料缺乏、细泥筑坝等难题，并且可省去选矿厂脱泥工序^[21]。

充分利用铜尾矿来充填采空区，可有效减少了大宗固废的排放，为当下绿色矿山的建设提供了技术支撑，产生了较好的社会效益和经济效益，已经成为铜矿山固废资源化利用和保护环境的一个有效手段。随着中国经济社会的不断发展及铜矿资源的持续开发利用，中国铜尾矿充填技术将会在更大流量、更低成本的充填设备、工艺及充填系统智能化等方面进一步提高。

2.2.4 制作聚合物填料

有些铜矿尾矿含有石榴子石、硅灰石、云母等一些具有特种性能的非金属矿物，这些尾矿经过一定的处理后往往作为塑料橡胶、涂料等一些产品的填充料，可大大改善其强度、电性能等。

湖北大冶铜矿从尾矿中回收石榴子石精矿用作橡胶填充料，可有效提高胶料的耐磨强度和抗老化性能等，并改善了加工性能，降低了胶料成本，石榴子石精矿的用量为橡胶量的 $50\%\sim 100\%$ 。

王巧玲^[22]对选矿尾矿中回收的绢云母产品进行表面改性及其在橡胶中应用实验，并与其他橡胶补强剂进行对比。5种改性剂改性的绢云母在天然橡胶和丁苯橡胶中的应用实验结果表明，通过改性可以改善绢云母表面活性，提高从选矿尾矿中回收的绢云母精矿产品在橡胶中的应用性能。对比实验结果表明，改性绢云母胶料拉伸强度及定伸应力优于轻质碳酸钙胶料而低于半补强炭黑胶料，而硬度和拉断伸长率大于其他两种胶料。尾矿中回收的绢云母经改性后可以在天然胶及丁苯胶中推广应用，并具有较大的经济效益、环境效益和社会效益。

2.2.5 制备农用肥料

由于尾矿中含有 Zn 、 Mn 、 Cu 、 Mo 、 P 等植物生长必备微量元素，经过一系列的处理，可以将尾矿制成化肥，已达到提高土壤肥力的作用。例如马鞍山矿山研究院将磁选尾矿加入到化肥中制成磁化尾矿复合肥，并建成一座年产 10000 t 的磁化尾矿复合肥厂，取得了明显成效。中国地质科学院矿产综合利用研究所针对四川拉拉铜矿尾矿，采用尾矿焙烧制备硅肥的工艺，可产出有效硅（以 SiO_2 计）质量分数 38.75% 的多功能矿物硅肥产品，符合国家标准《肥料中砷、镉、铅、汞生态指标》（GB/T 23349-2009）要求，可以作为无机、有机无机复合肥或其他农业及生态用途

的原料^[23-24]。

2.2.6 用于生态修复

铜矿矿区在经过长期开采后,形成了尾矿废弃地,而由于尾矿的物理化学性能导致该地生态系统退化,使其成为寸草不生的裸地。因此,尾矿废弃地的复垦受到了各国的高度重视,已成为当前的研究热点之一。目前对铜尾矿废弃地的复垦主要有物理法、化学法以及生物法等,生物法因具有不轻易造成二次污染、方法简单、费用较低等优点而成为铜尾矿复垦的主流方式。

毛文权^[25]等为改善矿区复垦地土壤生态环境,对铜陵市狮子山 3 个尾矿库复垦地和 1 个对照样地的土壤动物进行研究。样地土壤动物个体数和类群数方差分析表明,香樟林获得土壤动物个体数和类群数显著高于其他样地,刺槐林地与其他样地的个体数无显著性差异,类群数有显著性差异,芒草地和白茅草地个体数和类群数之间无显著性差异。RDA 分析表明,弹尾目与土壤 pH 值、TP 显著相关;凋落物层厚度、土壤 TN、TC、TOC 与双尾目、蚯蚓、双翅目幼虫、鼠妇呈极显著的正相关,与鞘翅目幼虫呈显著负相关。香樟林地对照下的复垦地生态恢复综合评价表现为刺槐林地恢复效果较好,芒草地和白茅草地的恢复效果不显著。

目前铜尾矿废弃地植被复垦依旧存在一些问题,如当某些铜尾矿中的硫含量较高时,硫在空气中暴露时间过长后会被氧化,使得尾矿处于酸性环境,进一步将铜尾矿中的重金属酸浸出来,导致重金属污染,从而影响复垦地上的植被生长。

3 铜矿尾矿利用存在的问题

我国在铜矿尾矿综合利用方面虽然取得了很大的成绩,但还远远不能适应经济和社会可持续发展的要求,与国内其他领域工业固体废弃物的利用水平及多梯度分质分级整体利用的国际先进水平相比,存在着较大差距:

(1) 综合利用率低

《工业绿色发展规划(2016-2020 年)》指出,2015 年我国大宗工业固体废弃物综合利用率在 65% 左右,其中尾矿的综合利用率仅为 22%,与发达国家综合利用率(60%)相比还存在很大的差距^[26]。

(2) 利用形式单一,高附加值产品少、缺乏市场竞争力

目前,铜矿尾矿在工业上的应用,大多仅停留在有价元素的回收利用和剩余非金属矿物在砂石、水泥等普通建材方面的应用,而高档的建筑材料如微晶玻璃、高档陶瓷、玻化砖等,由于制造工艺过程相对复杂,制造成本相对较高,导致市场竞争力较低,因此,到目前为止,大部分高附加值产品研究仅仅停留在实验室研究阶段,未能大规模工业应用。

(3) 国家投入资金不足,政策法规不完善

长期以来,铜矿尾矿利用项目在资金上得不到保证,投入严重不足。目前,我国很少有专项资金支持尾矿资源的综合利用,矿山企业融资渠道没有解决,再加上矿山行业普遍效益较差,尾矿利用资金筹措非常困难,导致企业没有意愿也没有能力关注并解决铜矿尾矿的综合利用问题。

在政策扶持上,国家虽然先后出台了资源综合利用减免所得税、部分资源综合利用产品企业减免增值税的优惠政策,但尚缺乏强制性政策措施和法律法规去完善尾矿资源化利用体系,导致矿山企业对尾矿的综合利用缺乏积极性。

4 结论与展望

(1) 尾矿资源规模化消纳利用是当务之急,也是长远之需;是经济任务,也是政治责任;是环境建设,也是民生工程。尾矿资源规模化消纳利用要以提高利用率和效益为目标,以技术创新为动力,以企业为实施主体,以税收优惠政策为杠杆,以政府资金引导为手段,加强项目建设,建立标准体系,完善政策措施,共同促进尾矿综合利用事业又快又好的发展。

(2) 企业与市场要进一步转变观念、提高尾矿利用意识。树立长远观念,把尾矿利用作为实现矿业持续发展的必要措施。要运用各种手段和形式,加强尾矿利用的宣传教育,使全行业真正认识到尾矿利用对节约资源、保护环境、提高矿山经济效益的重要性,努力实现合理配置资源和可持续发展。

(3) 搞好尾矿综合利用,还有许多技术问题需要解决,因此,必须加大科技攻关的力度,应重点解决尾矿中伴生元素的综合回收技术,经济

地生产高附加值以及大宗用量的尾矿产品的实用技术等,开展尾矿矿物工艺学的研究。国家应大力支持尾矿利用科技攻关工作,通过科技攻关及成果的推广,逐步提高我国工业固体废弃物综合利用的整体水平,缩小与世界先进水平的差距。

参考文献:

- [1] 颜学军. 矿山尾矿资源的综合利用和环境保护[J]. 稀有金属与硬质合金, 2005(3):23-25.
- YAN X J. Comprehensive utilization and environmental protection of mine tailing resource[J]. Rare Metals and Cemented Carbides, 2005(3):23-25.
- [2] 秦玉芳, 马莹, 李娜. 白云鄂博尾矿库及其资源利用研究概况[J]. 矿产综合利用, 2020(6):100-109.
- QIN Y F, MA Y, LI N. Research overview of Bayan Obo tailings pond and its resource utilization[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(6):100-109.
- [3] 杨进忠, 毛益林, 陈晓青, 等. 某尾矿资源化处置与综合利用[J]. 矿产综合利用, 2019(6):117-122.
- YANG J Z, MAO Y L, CHEN X Q, et al. Study on resource disposal and comprehensive utilization of tailings[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(6):117-122.
- [4] 中国工业固废网. 2019-2020 年度中国大宗工业固体废弃物综合利用产业发展报告[M]. 北京, 2021.
- China Industrial Solid Waste Network. Industrial development report of comprehensive utilization of bulk industrial solid waste in China 2019-2020[M]. Beijing, 2021.
- [5] 戴自希. 世界金属矿山尾矿开发利用的现状和前景[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2010.
- DAI Z X. Current situation and prospect of exploitation and utilization of metal mine tailings in the world[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2010.
- [6] 陈甲斌, 王海军, 余良晖. 铜矿尾矿资源调查评价、利用现状、问题与政策[J]. 国土资源情报, 2011(12):14-20.
- CHEN J B, WANG H J, YU L H. Investigation, evaluation, utilization status, problems and policies of copper mine tailings resources[J]. Land and Resources Information, 2011(12):14-20.
- [7] 赵武, 霍成立, 刘明珠, 等. 有色金属尾矿综合利用的研究进展[J]. 中国资源综合利用, 2019(6):117-122.
- ZHAO W, HUO C L, LIU M Z, et al. Research progress on the comprehensive utilization of non-ferrous metal mine tailings[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2019(6):117-122.
- [8] 尤翔宇, 姜平红, 成应向, 等. 尾矿综合利用技术研究进展[J]. 湖南有色金属, 2013(2):63-67.
- YOU X Y, JIANG P H, CHENG Y X, et al. Research advance on comprehensive utilization of the tailings[J]. Hunan Nonferrous Metals, 2013(2):63-67.
- [9] 李广, 温建, 肖琴, 等. 福建某选铜尾矿高效回收硫精矿实验研究[J]. 福建冶金, 2013(2):63-67.
- LI G, WEN J, XIAO Q, et al. Study on a new process for improve copper recovery from a low grade copper ore form Fujian Province[J]. Fujian Metallurgy, 2013(2):63-67.
- [10] 吴迪, 王洪岭, 孟庆波, 等. 内蒙古某多金属矿尾矿回收萤石实验研究[J]. 矿产综合利用, 2022(6):155-158.
- WU D, WANG H L, MENG Q B, et al. Experimental research on recovery of fluorite from a polymetallic mine tailing in Inner Mongolia[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2022(6):155-158.
- [11] 李纪, 黄迎春, 马国印, 等. 采用 CCF 浮选柱回收某尾矿中铜的实验研究[J]. 矿产综合利用, 2022(5):42-45.
- LI J, HUANG Y C, MA G Y, et al. Experimental study on recovery of copper from tailings by CCF flotation column[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2022(5):42-45.
- [12] 谭启明, 林祖宏, 尤超. 废弃尾砂性能及其在建材中的应用[J]. 安徽建筑, 2020(11):108-109.
- TAN Q M, LIN Z H, YOU C. Properties of waste tailings and its application in building materials[J]. Anhui Architecture, 2020(11):108-109.
- [13] 赵凤清, 倪文, 王会君. 利用铜尾矿制蒸养标准砖[J]. 矿业快报, 2006(4):34-36.
- ZHAO F Q, NI W, WANG H J. Preparation of load-bearing brick with copper tailings by steam curing method[J]. Express Information of Mining Industry, 2006(4):34-36.
- [14] 冯启明, 王维清, 张博廉, 等. 利用四川某铜矿尾矿制作轻质免烧砖的工艺研究[J]. 中国矿业, 2010(12):90-92.
- FENG Q M, WANG W Q, ZHANG B L, et al. Research on techniques of lightweight baking-free brick made of copper mine tailings from Sichuan[J]. China Mining Magazine, 2010(12):90-92.
- [15] 施正伦, 骆仲决, 林细光, 等. 尾矿作水泥矿化剂和铁质原料的实验研究[J]. 浙江大学学报:工学版, 2008(3):506-510.
- SHI Z L, LUO Z Y, LIN X G, et al. Experimental study on utilization of metallic tailings as cement mineralizer and iron raw material[J]. Journal of Zhejiang University(Engineering Science), 2008(3):506-510.
- [16] 林海威, 张水兵, 谢建斌. 铜尾矿粉透水混凝土性能研究[J]. 混凝土, 2018(5):157-160.
- LIN H W, ZHANG S B, XIE J B. Study on properties of copper tailing powder permeable cement concrete[J]. Concrete, 2018(5):157-160.
- [17] 陈杜娟, 王志丰, 王婷霞. 某尾矿综合回收选矿实验研究[J]. 矿产综合利用, 2021(1):104-108.
- CHEN D J, WANG Z F, WANG T X. Experimental study on comprehensive recovery and beneficiation of tailings[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(1):104-108.
- [18] 刘倩, 周春生. 铜尾矿微晶玻璃的制备及其性能研究[J]. 商洛学院学报, 2015(6):41-44.
- LIU Q, ZHOU C S. Development of microcrystalline glass from copper tailings[J]. Journal of Shangluo University,

2015(6):41-44.

[19] 南宁, 崔孝炜, 孙强强, 等. 铁尾矿制备微晶玻璃的研究[J]. 矿产综合利用, 2022(3):47-50.

NAN N, CUI X W, SUN Q Q, et al. Investigation on preparation of glass-ceramics with iron tailings[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2022(3):47-50.

[20] 丁向群, 潘阳, 李刚, 等. 发泡剂及粘结剂用量对铜尾矿轻质材料性能的影响[J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版, 2013(1):121-126.

DING X Q, PAN Y, LI G, et al. Study on effect of foaming and binding agent on lightweight material made of copper tailings[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University(Natural Science), 2013(1):121-126.

[21] 张宏泉, 李琦缘, 文进, 等. 铜尾矿资源的利用现状及展望[J]. 现代矿业, 2017(1):127-131.

ZHANG H Q, LI Q Y, WEN J, et al. Utilization status and prospect of copper tailings resources[J]. Modern Mining, 2017(1):127-131.

[22] 王巧玲. 尾矿中回收绢云母的改性及其在橡胶中的应用[J]. 有色金属, 2008(2):135-138.

WANG Q L. Modification of sericite recycled from tailings and its application in rubber[J]. Nonferrous Metals, 2008(2):135-138.

[23] 杨进忠, 周家云, 毛益林, 等. 攀西某铜矿尾矿资源化利

用研究[J]. 矿冶工程, 2019(5):44-48.

YANG J Z, ZHOU J Y, MAO Y L, et al. Resource utilization of copper tailings from Panzhihua-Xichang Region[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2019(5):44-48.

[24] 毛益林, 杨进忠, 刘小府. 攀西地区某典型铜矿尾矿资源化技术研究[J]. 矿产综合利用, 2022(6):84-88.

MAO Y L, YANG J Z, LIU X F. Study on resource utilization technology of typical copper tailings from Panxi Region[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2022(6):84-88.

[25] 毛文权, 朱永恒, 王海燕, 等. 铜尾矿复垦地的生态恢复程度与土壤动物指示作用研究[J]. 安徽农业科学, 2020(15):71-74.

MAO W Q, ZHU Y H, WANG H Y, et al. Study on ecological restoration degree and soil animal indicator of copper tailing reclamation land[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020(15):71-74.

[26] 工业和信息化部关于印发《工业绿色发展规划(2016-2020年)》的通知。 <http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1652858/n1652930/n3757016/c5143553/content.html>

Ministry of Industry and Information Technology on the issuance of the "Industrial Green Development Plan (2016-2020)" notice. <http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1652858/n1652930/n3757016/c5143553/content.html>

Present Situation and Progress of Resource Utilization Technology of Copper Tailings in China

Guo Wanjin¹, Wu Minghai², Wang Yang³, Deng Wei⁴, Wang Xiaohui⁴, Mao Yilin⁴

(1.Baiyu Yinxing Mining Co., Ltd, Ganzi, Sichuan, China; 2.Sichuan Xinyuan Mining Co., Ltd, Ganzi Sichuan, China; 3.Bayannur Western Copper Co., Ltd, Bayannur, Inner Mongolia, China; 4.Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Research Center of Multipurpose Utilization of Metal Mineral Resources of China Geological Survey, Chengdu, Sichuan, China)

Abstract: This is an essay in the field of mining engineering. Copper tailings are mainly concentrated in east China, southwest China and central South China, which are stored in dry dumps or wet discharge in tailings pond. The lack of multi-gradient and multi-direction utilization mode, brings great threat to the environment and safety around the mining area. It is an important measure to ensure the safety of resources and environment in mining area to strengthen the technical research on the utilization of domestic copper mine tailings and realize its large-scale consumption. This paper introduces the general situation and distribution of copper mine tailings resources, summarizes the utilization status of copper mine tailings in valuable element recovery, building materials, filling, reclamation and other aspects, and discusses the existing problems in the utilization of copper mine tailings resources and gives a prospect of reasonable development and utilization, providing a reference for further research and application of copper mine tailings resources.

Keywords: Mining engineering; Copper tailing; Resource utilization; Recovery of valuable elements; Building material; Reclamation