

Strategies for resource utilization of copper tailings solid waste

Ruifeng Cheng

Jiangxi Institute of Science and Technology, Nanchang, Jiangxi, 330098, China

Abstract

Copper mining generates substantial solid waste. While stockpiling these materials not only consumes vast land resources and severely pollutes the environment, the copper tailings contain abundant metal and non-metallic mineral resources that could be utilized. Proper resource utilization of copper tailings can transform waste into valuable assets, generating significant economic benefits while reducing pollution and improving mine area environments. However, several constraints still hinder effective resource utilization. This paper identifies these limiting factors and proposes diversified strategies for copper tailings recycling to provide practical guidance.

Keywords

copper tailings; solid waste; resource utilization; strategy thinking

铜尾矿固体废物的资源化利用策略思考

成瑞凤

江西科技学院，中国·江西南昌 330098

摘要

铜矿开采中会产生大量的固体废物，堆积不但占用大量土地资源，严重污染环境，而且含铜尾矿中有大量可利用的金属和非金属矿物资源，会造成资源浪费。做好铜尾矿固体废物的资源化利用工作，不但能变废为宝，产生可观的经济效益，同时也能减少污染，有效改善矿区环境。但是在资源化利用过程中仍然存在一些制约因素，影响资源化利用效果。基于此，文章从这些制约因素入手，并探讨了开展铜尾矿固体废物资源化利用工作的多元化策略，以供参考。

关键词

铜尾矿；固体废物；资源化利用；策略思考

1 引言

铜作为人们生产生活中的常用金属，社会对于铜的需求量是相对较高的，而在铜开采与冶炼的过程中会产生大量尾矿，若不对其进行有效处理不仅会浪费资源，同时也很容易会因尾矿引发二次污染问题，威胁生态环境，不符合于我国既要金山银山又要绿水青山的发展理念，因此做好铜尾矿固废的资源化利用是十分必要的，而在分析铜尾矿资源化利用路径之前首先则需要明确铜尾矿的基本成分及其资源化利用的制约因素。

2 铜尾矿的基本成分及其资源化利用的制约因素

铜尾矿的成分受选矿工艺和原矿产地等多重因素的影响会存在较大的差别，但总体以硅酸铝盐为主，通常含有 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 等相应元素，部分铜尾矿含有铜、铁、锌等有价金属以及铅、铬等微量重金属。大多数铜尾矿的颗粒较小，呈不规则形状，比表面积较大且具有活性位点。这可以为材料合成、土壤改良等方面的应用提供结构基础。但是铜尾矿在资源化利用的过程中也会面临着较大的制约，具体体现在四个方面。

首先，为成本波动相对较大，不同矿山所生产出的铜尾矿其成分差异较大，因此铜尾矿资源化利用无法形成标准化工艺，难以实现规模化应用。其次，铜尾矿资源化利用的附加价值较低，大多数情况下铜尾矿资源化利用多倾向于制砖、铺路，其技术门槛虽然相对较低，但利润空间也是相对较小的，因此很多企业对于铜尾矿利用给予的关注和重视相对偏低，更多的是将铜尾矿视为负担而非资源，也不愿意投

【基金项目】江西科技学院自然科学技术重点项目（项目编号：23ZRZD02）。

【作者简介】成瑞凤（1980-），女，硕士，讲师，从事建筑材料研究。

入过多的成本去进行技术研发。再次,为预处理成本较高铜尾矿颗粒细小、易扬尘、难脱水,想要对其进行资源化利用,还需要进行分级、干燥、除杂等相应预处理工作,大大增加了成本,这又进一步压缩了产品的利润空间,降低了企业铜尾矿资源化利用的积极性。最后,铜尾矿资源化利用的相关政策与标准不够完善。例如,尾矿制建材的强度指标、重金属浸出限值缺乏统一的规定这就导致了下游企业往往不敢轻易使用,铜尾矿资源化利用后的产品其市场接受度相对偏低,也会大大影响相关企业铜尾矿资源化再利用的热情。

3 铜尾矿资源化利用的核心策略

3.1 材料化利用

材料化利用是铜尾矿资源化利用的主攻方向,其核心在于将铜尾矿作为原料来替代天然砂石和粘土制作建筑材料,为建筑单位提供廉价且质量能够得到保证的物资。需要根据铜尾矿固废的理化性质特点明确材料化利用方向,紧抓新型建筑墙体、新型无机非金属材料、生产水泥混合材与混凝土骨料。黏土资源在新型建筑墙体材料制作的过程中应用广泛,而同尾矿因颗粒系可塑性强,可以代替部分黏土来制作烧结砖、非烧结砖或加气混凝土砌块。例如可以将铜尾矿和石灰水及按特定比例混合,在成型、养护后制作非烧结砖,其抗压强度可以达到 10~15mpa,符合 mu10 级专标准。在此基础之上还可通过矿渣、粉煤灰的适当参加进一步提高砖的保温隔热性能,为打造绿色建筑提供物质基础^[1]。

在生产水泥混合材与混凝土骨料的过程中可以利用铜尾矿中硅铝酸盐成分替代矿渣或粉煤灰,有效降低水泥制作所耗成本。在这个过程中可将铜尾矿磨细至比表面积 400 m²/kg 以上,按 10%~15% 的比率掺水泥熟料,促进水泥水化反应,进而提升水泥早期的强度和抗渗性。在此基础之上还可以将铜尾矿替代天然河砂,通过颗粒级配调整,将铜尾矿与粗骨料水泥按特定比例混合制作混凝土,其抗压强度可以达到 c30~c40。同时采用这种方法制作的混凝土其抗碳化性能和抗冻性都要高于普通混凝土。但是需要注意的则是铜尾矿中往往含有硫化物等相应有害杂质,这很容易会导致混凝土内部膨胀,影响混凝土的使用寿命,为此需通过烘烧法等相应预处理方法来去除硫化物,也可以通过石灰石粉等相应脱硫剂的有效应用中和有害成分,确保混凝土性能达标。就现阶段来看,在安徽、湖北等地区的建筑施工中已经开始使用铜尾矿制作混凝土,生产的混凝土可以应用于道路基层、厂房地面,效果较为理想。

最后,铜尾矿也可用于合成新型无机非金属材料,经济社会的迅速发展以及科技研究的不断发展使得现阶段铜尾矿的高值化利用成为研究的热点话题。铜尾矿也成为合成地质聚合物的重要材料之一,以铜尾矿中的硅铝酸盐为主要原料,通过碱基发反应生成具有三维网状结构的无机材料,这类材料具有高强度、耐高温、耐腐蚀等相应特性。研究团

队将铜尾矿作为原料,在加入氢氧化钠--水玻璃复合激发剂后养护七天左右,生成的地质聚合物抗压强度已经达到 25MPa 以上,能够满足装饰板材、井盖等相应产品的制作需求。在此基础上还可以通过碳纤维、纳米颗粒等相应增强材料的应用进一步提高生成物的韧性和力学性能,将其应用于高端建材领域。此外,铜尾矿也可以应用于陶瓷、玻璃陶瓷的制作当中,与长石和石英混合后通过高温烧结制作陶瓷砖,其光洁程度达标且吸水率较低^[2]。

3.2 农业化利用

矿业固体废弃物,特别是铜尾矿的处置与资源化利用,是环境科学与土壤学领域的重要课题。尽管其含有潜在毒性的重金属,但通过科学的处理与剂量优化,铜尾矿展现出作为土壤改良剂和栽培基质的巨大潜力,可为农业可持续发展与生态系统修复提供支持。在土壤改良方面,铜尾矿的利用主要体现在物理结构与养分补充两个维度。首先,其颗粒细小,适量掺入可有效调节土壤的机械组成。对于砂质土壤,掺入 5%-10% 的铜尾矿能够增加土壤粘粒含量,缓解土壤沙化问题,增强保水保肥能力。反之,对于粘重土壤,其添加有助于降低土壤容重和粘着性,改善孔隙结构与通气性,从而促进植物根系的伸展与发育。其次,铜尾矿中含有钙、镁、钾、硅等多种元素。其中,硅元素的作用尤为突出,它能沉积于植物表皮细胞,显著增强小麦、水稻等禾本科作物的茎秆强度,进而提高其抗倒伏与抗病虫害能力^[3]。然而,将铜尾矿大规模应用于土壤环境的核心制约因素在于其重金属含量。为确保环境安全,必须建立严格的应用标准,对铜尾矿的使用量及其重金属本底值进行双重控制。对于重金属含量超标的尾矿,必须先进行稳定化处理。现有研究表明,通过添加磷酸盐或石灰等钝化剂,可有效促使尾矿中的可交换态和碳酸盐结合态重金属向更稳定的铁锰氧化物结合态或残渣态转化,从而显著降低其生物有效性与向食物链迁移的风险。铜尾矿的资源化利用是一个机遇与挑战并存的领域。在完善的风险评估与有效的稳定化技术保障下,其作为土壤改良剂的路径具备可行性,但需在应用中实施长期监测。

尽管铜尾矿含有微量重金属,但可以通过适当的处理和优化将其用作土壤改良剂和基质,为农业生产和生态恢复提供更多的助力。首先,铜尾矿可应用于土壤改良和肥力提升方面,部分铜尾矿中含有钙、镁、钾等相应微量元素且颗粒细小,这些微量元素可以用于改善土壤结构当中,保障土壤的透气性和保水性。例如若种植区域的土壤为砂质土壤,这是一个可以掺入 5%~10% 的铜尾矿,有效缓解土壤沙化,提高土壤肥力。而在粘性土壤中也可以通过参加适量铜尾矿的方式来降低土壤黏重性,促进植物根系发育。此外,铜尾矿中的硅元素可以更好地提高作物的抗倒伏能力和抗病虫害能力,在小麦、水稻等粮食作物种植中应用可以达到较好的应用效果^[3]。但是需要注意的则是在土壤改良和肥力提升的过程中应当严格控制铜尾矿的使用量和铜尾矿中重金属

含量,若铜尾矿中重金属元素含量超标则需要通过引起稳定化等相应技术的有效应用进行处理,避免土壤污染。例如可以在铜尾矿中加入磷酸盐和石灰,将重金属转换为稳定态,降低其生物有效性。

其次,铜尾矿可应用于矿区生态修复和植被重建当中。在矿产资源开采的过程中对于地方生态环境的扰动和影响是相对较大的,尤其是植被覆盖面积会受到较大的冲击,若开采区域土壤贫瘠、生态环境较为脆弱,其所带来的影响更大。在这样的背景下则可以将铜尾矿作为基质,配合植被种植,恢复矿区生态环境。可以将铜尾矿与腐殖土、秸秆按3:2:1比例混合制成种植基质。腐殖土和秸秆会为马尾松的生长提供养分,而铜矿中的颗粒结构则可促进根系发育,保障植被成活率。此外,铜尾矿还可应用于尾矿坝的生态护坡当中,可以在尾矿坝表面铺设混合基质,引入相应的草本植物和灌木植物,有效解决尾矿场扬尘和水土流失等相应问题,打造人文景观^[4]。

3.3 工程化利用

铜尾矿还可应用于矿山采空区填充和道路基层与路基施工当中。采空区是矿产资源开采过程中形成的,若不及时对采空区加以处理则很容易会引发地表塌陷、矿震等相应灾害。而这时则可借助铜尾矿配合水泥、水按特定比例充填采空区,进而控制地压,保障矿产资源开采区域的地质稳定。常见的有干式充填、湿式充填和膏体充填三种类别。干式充填更适用于浅部采空区,可以直接在采空区倒入铜尾矿,通过这种方式来有效降低采空区充填所需要消耗的成本和资源,但是该种充填方式的充填强度相对较低。湿式充填则是通过管道来输送尾矿浆,其实充填效率相对较高,但是需要进行脱水处理。膏体充填则是将尾矿与胶凝材料混合,保障其流动性和强度,属于现阶段较为常用且应用成效相对较好的采空区充填方式^[5]。

除此之外,在道路基层施工和路基施工中也可以应用铜尾矿来提高施工质量和施工成效。可以将铜尾矿进行分级,然后做好压实处理,将处理后的铜尾矿作为底基层或道路基层的材料,替代天然砂石。铜尾矿颗粒级配均匀、压实后密度大、承载力强,因此被广泛应用于乡村公路和矿区道路建设中。同时,铜尾矿来源稳定且购买成本相对较低,可以大幅降低道路建设成本,可以在公路施工中将铜尾矿与水泥、石灰按特定比例混合,在摊铺、碾压后形成基层满足道路使用需要需求^[6]。但是在实践应用的过程中需要控制同尾矿的水稳定性,若尾矿中含泥量过高则很容易会出现遇水软化,进而引发路基沉降等相应问题,因此可通过粉煤灰、水泥等胶凝材料的有效应用提高路基的水稳定性与强度。

3.4 有价金属回收

铜尾矿中往往含有铜、铁、锌等相应有价金属,是重

要的二次资源,可通过回收来提高铜尾矿的经济价值,为资源化利用提供资金支撑。

首先,可以通过浮选法、重选法等相应选矿工艺来完成铜金属回收。运用运用浮选设备等开展浮选工艺能够有效实现矿物分离,提取有价金属,实现资源回收。

其次,可以通过湿法冶金法来回收多金属。部分铜尾矿伴生多种金属,这时湿法冶金法选择性高、回收率高的优势则可以充分凸显出来。可以通过硫酸浸出-萃取-电积工艺,同时完成铜、铁、锌等相应金属的回收。在铜尾矿处理中可以先用硫酸浸出金属离子,然后通过萃取分离的方式分离出不同的金属,最后通过电积法制备金属单质。若铜尾矿中含有砷、硌等相应有害金属,可以在浸出过程中引入双氧水等相应的氧化剂,将有害金属转化为沉淀物,去除,进而达到产品回收标准。

最后,可以通过火法冶金法来完成贵金属的回收部分,若铜尾矿中含有金银等相应贵金属,这时则可以通过火法冶金法来进行贵金属回收。通过培烧的方式先去除尾矿中的硫化物和有机物,在此之后可添加石英砂、石灰石等相应溶剂进行熔炼,使贵金属能够进入到粗金属合金中,最后通过电解精炼获得纯金属。火法冶金法可以完成大规模的铜尾矿处理,但是需要注意的是该项技术的能耗相对较高,可通过余热回收设备的有效应用降低能源损耗^[7]。

4 结语

做好铜尾矿固体废物的回收和资源化利用工作可以为矿山开采领域开拓更多利益获取渠道,同时也为其他产业提供建设材料。因此,文章重点分析了实现铜尾矿固体废物资源化利用的有效策略,提出了材料化利用、工程化利用、农业户利用、有价金属回收等相应措施,提高其资源再利用成效。

参考文献

- [1] 潘美晨,穆攀攀,张晓光.铜尾矿资源化利用现状:技术、问题和挑战[J].中国矿业,2025,34(07):42-55.
- [2] 费玲云,邹伟民,周美彦,等.尾矿资源化利用现状及生态化利用研究进展[J].能源环境保护,2025,39(04):48-60.
- [3] 耿楠,吴明春,李显,等.尾矿资源化利用制备水泥注浆料的无侧限抗压强度预测[J].金属矿山,2024,(06):242-251.
- [4] 华娟娟. MS公司尾矿资源化利用项目可行性研究[D].南京理工大学,2024.
- [5] 郭万进,吴明海,王阳,等.我国铜矿尾矿资源化利用技术现状及进展[J].矿产综合利用,2023,(05):127-134.
- [6] 李亚民,黄凌云,李汶交,等.有色金属矿山尾矿资源化利用研究进展[J].矿冶,2023,32(04):93-103.
- [7] 李畅.江西省某铜尾矿资源化过程生命周期评价研究[D].江西理工大学,2020.