

钒钛磁铁矿尾矿综合利用研究进展

陈桃¹, 简胜^{1,2}, 谢贤^{1,*}, 张英¹, 黎洁¹, 李博琦¹, 朱辉¹

1. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093;

2. 昆明冶金研究院, 云南 昆明 650503

中图分类号: TD926.4⁺² 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2021)02-0174-05

DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2021.02.023

摘要 目前综合利用钒钛磁铁矿尾矿的方法主要分为两大类: 尾矿再选(有价金属回收)和整体利用。根据尾矿性质与组分的不同, 尾矿再选主要是采用重选、磁选、浮选、化学选矿和联合分选等选矿工艺, 对尾矿中有价元素进行回收; 整体利用主要是用尾矿制备建筑材料、陶瓷和瓷砖等, 该方法能大量消纳尾矿, 可有效解决尾矿堆存问题。基于已有的研究工作, 指出对尾矿“物性”(物理化学性质)的研究是实现尾矿中有价元素回收的基础, 加强联合分选工艺、细粒级有用矿物回收技术及新设备的研究是今后综合利用钒钛磁铁矿尾矿的发展方向。

关键词 钒钛磁铁矿; 尾矿综合利用; 物理选矿; 化学选矿; 联合分选工艺

引言

钒钛磁铁矿矿石主要含铁、钛和钒, 其次还含有钴、铬、镍、镓和钷等元素, 是一种极其重要的战略矿产资源^[1-3]。目前钒钛磁铁矿矿石全球已探明储量为400多亿t, 中国探明储量达180多亿t, 主要分布于四川攀西、河北承德和辽宁朝阳等地区^[4-9]。

钒钛磁铁矿矿石的利用主要是采用重选、磁选和浮选等选矿方法, 获得钒钛磁铁矿精矿、钛铁矿精矿和硫钴镍精矿等产品, 精矿经过进一步的选冶流程得到合格的产品^[10-13]。钒钛磁铁矿矿石经选矿后产生的尾矿不仅含有未被回收的铁、钛和钒等元素, 而且还含有钴、镓和钷等稀散和稀有元素, 综合利用价值高。但由于相关选矿技术、设备以及尾矿“物性”的制约, 使我国选铁尾矿还未得到有效利用, 大量堆积, 截至2015年我国累计堆存的铁尾矿总量高达75亿t, 并还在不断增加^[14]。已有相关研究表明^[15,16], 钒钛磁铁矿尾矿中有害金属元素会从尾矿坝向下游土壤发生迁移, 造成对下游土壤的污染, 进而对周围生态环境和居民的生活造成危害, 而且大量尾矿的堆积还会对选矿

厂造成严重的经济负担, 因此亟需研究出高效综合利用钒钛磁铁矿尾矿的方法。

经过大量科研人员的研究, 目前我国利用钒钛磁铁矿尾矿的方向主要分为两大类: 有价金属的回收和尾矿整体利用。本文将对这两个方向做讨论, 并对今后钒钛磁铁矿尾矿的综合利用做出展望, 以期推动该尾矿的高效利用。

1 有价金属的回收

钒钛磁铁矿尾矿作为一种典型的多金属尾矿, 具有较高的经济价值, 根据各有价金属在尾矿中的赋存状态与物理性质, 可采用物理选矿、化学选矿和联合选矿等方法实现回收利用。提取有价金属之后的钒钛磁铁矿尾矿可用于生产建筑或其他行业的材料, 进一步提高该尾矿的价值。

1.1 铁元素的回收

钒钛磁铁矿尾矿中的铁元素主要赋存于钛磁铁矿、钛铁矿、攀钛透辉石和角闪石中, 其中钛磁铁矿是回收铁元素的主要载体矿物, 钛磁铁矿具有强磁性, 可

收稿日期: 2021-02-20

基金项目: 广东省矿产资源开发和综合利用重点实验室开放基金项目(SK-201903); 2018年云南省应用基础研究计划面上项目“络合铜离子活化铁闪锌矿的基础理论研究”(2018FB086)

作者简介: 陈桃(1996-), 男, 硕士研究生, 主要从事矿石分选理论与工艺研究工作, E-mail: 469118050@qq.com。

通信作者: 谢贤, 男, 博士, 副教授, 主要从事矿物综合利用研究, E-mail: 89235376@qq.com。

采用弱磁选进行分选^[17]。于元进等人^[18]首次采用 ZCLA 磁选机对某钒钛磁铁矿尾矿进行预先抛尾,对抛尾后的精矿采用湿式弱磁选,最终得到 TFe 品位为 56.90% 的合格铁精矿。扈维明等人^[19]分析发现,太和矿区钒钛磁铁矿尾矿中含有较高的磁性铁,采用湿式弱磁选选铁,最终得到 TFe 品位为 38.96%、TFe 回收率为 37.11% 的高铁粗精矿,可将该铁粗精矿返回生产流程,以降低生产成本。

1.2 钛元素的回收

钛具有良好的物理化学性质,被广泛应用于航空航天行业,有“太空金属”之称。钒钛磁铁矿尾矿中主要含钛矿物为钛铁矿,钛铁矿是弱磁性矿物,相对于脉石矿物具有较大密度和表面性质差异,可采用浮选、重选和磁选等方法进行分选。

徐翔等人^[20]以攀西钒钛磁铁矿尾矿为研究对象,发现钛磁铁矿可浮性好于钛铁矿,浮选时会被优先捕收,且经磁选后的钛磁铁矿易产生磁团聚现象,会将脉石矿物夹带进精矿,造成对钛铁矿浮选不利影响,因此在尾矿浮选之前可进行磁选除铁,以避免钛磁铁矿对钛铁矿浮选的影响。陈超等人^[21]对某低品位钒钛磁铁矿干式选铁尾矿采用“预选—磁选—浮选”的工艺流程,获得 TiO₂ 品位为 45.29%、回收率为 45.34% 的钛精矿。邓冰等人^[22]根据攀西某钒钛磁铁矿尾矿的组成成分与性质,采用强磁选预富集钛,使尾矿 TiO₂ 品位提高了 7.35%,然后对钛粗精矿采用“一粗四精一扫”的浮选工艺流程,获得 TiO₂ 品位为 47.78%、回收率为 61.25% 的钛精矿。李城等人^[23]先将黑山钒钛磁铁矿选铁尾矿进行脱硫,在合适的磨矿粒度和药剂制度下,以浮选柱代替浮选机粗选进行“一粗五精”的全浮选工艺流程,获得 TiO₂ 品位为 42.05%、回收率为 66.62% 的钛精矿,精矿质量优于用浮选机粗选指标,一定程度上说明浮选柱用于该尾矿的分选效果要优于浮选机,对今后浮选柱用于钒钛磁铁矿尾矿中钛的回收有一定的借鉴作用。

1.3 钒元素的回收

钒是工业生产中极其重要的一种金属元素,被称为“工业的味精”,广泛应用于钢铁工业、化工工业和有色金属工业^[24-26]。钒钛磁铁矿矿石是提取钒的重要来源之一,而钒钛磁铁矿在分选时有一部分钒会随脉石矿物进入尾矿,如不回收利用,将造成资源的浪费。闵世俊^[27]对钒钛磁铁矿尾矿提钒分别进行了焙烧和浸出工艺研究,结果表明,在确定最佳工艺条件的情况下,通过“钙化焙烧—酸浸提钒”工艺可得到经济效益可观的钒精矿,并且该工艺流程对尾矿中钛造成

的损失较少,对钒钛磁铁矿尾矿的综合利用具有重要意义。

1.4 其它元素的回收

除铁、钛和钒等主要金属元素以外,钒钛磁铁矿尾矿还含有镓、镍、钴和钨等稀散、稀有金属元素,大量尾矿的堆积可能会导致这些金属浸出到土壤中,污染地下水。如果这些稀散金属元素得以回收利用,不仅能提高钒钛磁铁矿尾矿的经济价值,还能减少尾矿堆存对环境的危害。

魏娟^[28]研究了攀枝花钒钛磁铁矿尾矿中镓的分离富集,对比了几种不同材料的效果,发现直接使用各固体材料分离富集尾矿液中的镓时效果都不理想,采用沉淀前处理再配合使用吸附材料会使分离富集效果得到明显改善。黄雯孝等人^[29]对攀西钒钛磁铁矿尾矿中钨的提取进行了研究,分析了钨在尾矿中的赋存状态和分布规律,采用“选矿预富集—碱性焙烧—酸浸—萃取与反萃取富集分离钨—制备氧化钨产品”的工艺流程,得到 Sc₂O₃ 品位达 99.22% 的产品,实现了该尾矿中钨的高效回收。杨伟卓^[30]分别研究了三种不同的选矿工艺对陕西某钒钛磁铁矿尾矿中多种贵金属的综合利用回收。结果表明,其中经济效益最好的是“浮选—碱浸出”工艺,金、银、镍、钴和铜的浸出率分别可达到 96.5%、92.3%、90.8%、88.7% 和 97.4%,实现该钒钛磁铁矿尾矿中贵金属的综合利用。

2 尾矿整体化利用

钒钛磁铁矿尾矿的整体化利用即全组分利用,可分为不提取有价元素直接将尾矿制备建筑材料、陶瓷和瓷砖等,或先提取尾矿中有价元素再制备合适的材料两种方式。

2.1 建筑材料

钒钛磁铁矿尾矿中含有大量 SiO₂、Al₂O₃ 和 CaO 等化学成分^[31],能提供水泥和混凝土等建筑材料所需的硅铝质成分。目前建筑材料市场需求量大,如能使钒钛磁铁矿尾矿用作建筑材料原料,将有效减少该尾矿堆存量,是目前整体利用研究的重要方向^[32-34]。

2.1.1 水泥掺合料

已有相关研究表明,铁尾矿是制备普通硅酸盐水泥熟料的优质原料^[35]。由于钒钛磁铁矿尾矿反应活性较低,因此该尾矿需先活化再用作制备水泥的原料,活化的方式有机械活化和化学活化。刘海军等人^[36]研究发现,机械活化法应用于该尾矿效果更加明显,再将一定比例机械活化后的尾矿掺入到水泥砂浆中,生

产出性能达到 GB 175—2007《通用硅酸盐水泥》中 42.5 R 标准的复合硅酸盐水泥。杨飞等人^[37]以河北承德某钒钛磁铁矿尾矿为研究对象,发现该尾矿具有与黏土相似的化学组成,可代替黏土为水泥的生产提供硅铝质成分,最终以钒钛磁铁矿尾矿、石英砂与石灰石为混合原料,经高温煅烧后制备出性能优于 42.5 R 普通硅酸盐水泥标准的水泥熟料,为钒钛磁铁矿尾矿用作绿色水泥混合材提供了理论依据。

2.1.2 混凝土

国内已有一些学者论证了铁尾矿作为混凝土掺合料的可行性^[38-41]。王修贵等人^[42]对钒钛磁铁矿尾矿制备高强度混凝土进行了研究,掺入适量的尾矿、减水剂、石膏、高炉渣与水泥,尾矿粒度 - 0.074 mm 为 80.44% 时,获得 28 d 抗压强度达 90.2 MPa 的高强度混凝土。石磊等人^[43]研究了钒钛磁铁矿尾矿对加气混凝土切块的影响,将尾矿与水泥、石灰和石膏以适当比例混合,制备出综合性能满足 GB 11968—2006 标准中 A4.5 等级的加气混凝土砌块,并且通过 XRD 衍射和电子扫描电镜分析发现,适量尾矿的加入能增加成品的强度,使制品具有更佳的吸水率和耐水性。李胜等人^[44]以同体积的钒钛磁铁矿尾矿微粉代替粉煤灰,制出多种性能都得到提升的 C30/35C 自密实混凝土,且利用尾矿代替粉煤灰既可减少自密实混凝土的成本,又使尾矿有效得到资源化利用,是一种比较有前景的方法。

2.2 泡沫陶瓷

泡沫陶瓷具有低密度、高孔隙率等优异的性能,在如今海绵城市的建设中得到广泛的应用,具有极好的市场前景^[45-47]。利用钒钛磁铁矿尾矿中含有硅和铝等元素的特点,可考虑将钒钛磁铁矿尾矿作为硅铝质原料与其它材料混合制备泡沫陶瓷,既实现尾矿的利用,又能降低泡沫陶瓷生产的成本,已是如今研究的一个热点。李林等^[48,49]以钒钛磁铁矿尾矿和废玻璃为主要原料,加入石英为硅质辅料,研究了原料配比与发泡剂添加量对泡沫陶瓷性能的影响,通过高温烧结法成功制备出抗压强度为 0.68 MPa、吸水率为 56.5%、密度为 0.26 g/m³ 的储水泡沫陶瓷和密度为 0.78 g/cm³、吸水率为 14.3%、孔径分布均匀的轻质泡沫陶瓷。

2.3 尾矿瓷砖

国内许多学者对工业固体废弃物用作烧制瓷砖的原料做了大量的研究,并取得了较好的研究成果。陈永亮等^[50,51]研究了某地低硅铁尾矿掺量对瓷质砖性能、结构及烧成温度的影响,结果表明,铁尾矿的掺入

可降低烧成温度,掺入 55% ~ 65% 的铁尾矿可全部取代长石制备出符合相关标准和技术要求的瓷质砖。崔雅婷^[52]以某高岭石型硫化铁浮选尾矿代替部分原料生产瓷质砖,在适宜的烧成条件下得到符合 GB/T 4100—2006《陶质砖》要求的瓷质砖。尽管已有前人对铁尾矿制作瓷砖做出了相应研究,但利用钒钛磁铁矿尾矿制作瓷砖的研究还比较少,李华彬等人^[53]以攀钢钒钛磁铁矿尾矿为主要原料,与红格黏土、河南黏土和峨眉长石按一定比例混合,成功研制出性能达到或超过 EN176-91 标准的优质尾矿瓷质砖,为钒钛磁铁矿尾矿的利用新开辟了一条利用之路。

2.4 综合利用

陈城^[54]对某钒钛磁铁矿尾矿先进行“磁选—浮选”联合分选工艺,得到 TFe 品位和回收率分别为 52.17% 和 40.00% 的铁精矿与 TiO₂ 品位和回收率分别为 44.17% 和 62.78% 的钛精矿。再选尾矿被分为 +0.075 mm 的粗粒尾矿和 -0.075 mm 的细粒尾矿,粗粒级尾矿被用于建筑用砂,细粒尾矿被用于制作多孔陶瓷。吕子虎等人^[55]在对承德市某钒钛磁铁矿尾矿进行工艺矿物学研究的基础上,采用重选流程回收钛铁矿,然后对重选尾矿分级,将细粒级尾矿烧制成空心砖,粗粒级尾矿作为建筑用砂。以上两种方法都是先选出尾矿中有效组分再分级制成合适的材料,是一种极具前景的方法。

综合利用可最大化实现尾矿价值,即使尾矿中有价金属得到回收利用,又使尾矿得到整体利用,是今后尾矿利用研究的一个重要方向。

3 总结与展望

我国钒钛磁铁矿尾矿综合利用主要分为尾矿再选与整体利用。两种方法都在一定程度上解决了钒钛磁铁矿尾矿所带来的环境污染与经济损失等问题,但尾矿再选会再次产生尾矿,而整体利用的产品往往附加值不高,只使用其中一种方式很难有效解决尾矿所带来的问题,因此两种利用方式结合的工艺流程将是今后一个比较重要的研究方向。

据相关研究,要实现钒钛磁铁矿尾矿中有效矿物的综合回收,可从以下几个方面入手:

(1) 加强对尾矿“物性”的研究。尾矿中含有价元素的矿物与原矿中的矿物性质差异大,要实现尾矿中有价元素的回收,对尾矿“物性”的研究是基础。

(2) 加强对联合分选工艺的研究。由于尾矿有效组分间关系复杂,单一选矿工艺难以实现有效分选,因此联合分选工艺将是一个比较有前景的研究方向。

(3) 加强对微细粒级有效矿物回收的技术研究以

及新设备的开发。传统选矿设备难以实现尾矿中有用组分的分离,要实现尾矿的高效利用,需开发针对微细粒级矿物的选矿技术及新设备。

参考文献:

- [1] XIAOFEI G, SHUJUAN D, QIANQIAN W. Influence of different comminution flowsheets on the separation of vanadium titanite - magnetite[J]. Minerals Engineering, 2020, 149: 106268.
- [2] YULEI S, YUFENG G, TAO J, et al. Separation and recovery of iron and titanium from oxidized vanadium titanite - magnetite by gas - based reduction roasting and magnetic separation[J]. Journal of Materials Research and Technology, 2019, 8(3): 3036 - 3043.
- [3] 肖六均. 攀枝花钒钛磁铁矿资源及矿物磁性特征[J]. 金属矿山, 2001(1): 28 - 30.
- [4] 王勋, 韩跃新, 李艳军, 等. 钒钛磁铁矿综合利用研究现状[J]. 金属矿山, 2019(6): 33 - 37.
- [5] 王兆才, 陈双印, 储满生, 等. 含钒钛铁精矿氧化球团气基竖炉直接还原模拟试验[J]. 钢铁钒钛, 2012, 33(2): 34 - 39.
- [6] 徐丽君, 李亮, 陈六限, 等. 攀西地区钒钛磁铁矿综合回收利用现状及发展方向[J]. 四川有色金属, 2011(1): 1 - 5.
- [7] 于宏东, 王丽娜, 曲景奎, 等. 中国典型钒钛磁铁矿的工艺矿物学特征与矿石价值[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2020, 41(2): 275 - 281.
- [8] WANG S, GUO YF, JIANG T, et al. Appropriate titanium slag composition during smelting of vanadium titanomagnetite metallized pellets[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2018, 28(12): 2528 - 2537.
- [9] RORIE GILLIGAN, ALEKSANDAR N, NIKOLOSKI. The extraction of vanadium from titanomagnetites and other sources[J]. Minerals Engineering, 2020, 146: 106106.
- [10] 朱俊士. 钒钛磁铁矿选矿及综合利用[J]. 金属矿山, 2000(1): 1 - 5.
- [11] 王帅, 郭宇峰, 姜涛, 等. 钒钛磁铁矿综合利用现状及工业化发展方向[J]. 中国冶金, 2016, 26(10): 40 - 44.
- [12] CHEN DS, ZHAO LS, LIU YH, et al. A novel process for recovery of iron, titanium, and vanadium from titanomagnetite concentrates: NaOH molten salt roasting and water leaching processes[J]. Journal of Hazardous Materials, 2013, 244 - 245.
- [13] ZHENG HY, ZHANG WL, GUO YC, et al. Transformation of Vanadium - Bearing Titanomagnetite Concentrate in Additive - Free Roasting and Alkaline - Pressure Leaching for Extracting Vanadium (V)[J]. Minerals, 2019, 9(3): 197.
- [14] 张杰西, 赵斌, 房彬. 我国铁尾矿排放现状及综合利用研究[J]. 再生资源与循环经济, 2015, 8(9): 29 - 32.
- [15] 唐先国, 滕彦国, 徐争启. 应用现场 XRF 分析技术研究攀枝花钒钛磁铁矿床尾矿坝环境污染: 第四届世界华人地质科学研讨会[C]. 南京, 2002.
- [16] HAO L, ZHANG B, FENG C, et al. Human health risk of vanadium in farmland soils near various vanadium ore mining areas and bioremediation assessment[J]. Chemosphere, 2020.
- [17] 史志新. 某钒钛磁铁矿尾矿中铁、钛矿物的矿物学研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2017(3): 1 - 6, 15.
- [18] 于元进, 曾尚林, 曾维龙. ZCLA 选矿机在毕机沟钒钛磁铁矿尾矿综合回收铁、钛中的应用[J]. 现代矿业, 2015, 31(3): 47 - 49, 52.
- [19] 扈维明, 何刚, 张洪波. 太和钒钛磁铁尾矿再回收选矿试验研究[J]. 矿产综合利用, 2013(6): 50 - 53.
- [20] 徐翔, 章晓林, 张文彬. 钒钛磁铁矿对铁铁矿浮选的影响[J]. 金属矿山, 2010(6): 69 - 72.
- [21] 陈超, 张裕书, 张少翔, 等. 某低品位钒钛磁铁矿干式选尾矿的选钛试验[J]. 钢铁钒钛, 2015, 36(3): 6 - 10.
- [22] 邓冰, 张渊, 杨永涛, 等. 攀西某钒钛磁铁矿选铁尾矿选钛试验研究[J]. 矿产综合利用, 2018(2): 91 - 96.
- [23] 李城, 王伟之, 刘泽伟, 等. 钒钛磁铁矿中钛的柱机联合全浮工艺试验研究[J]. 矿产综合利用, 2019(3): 40 - 43.
- [24] 张冬清, 李运刚, 张颖异. 国内外钒钛资源及其利用研究现状[J]. 四川有色金属, 2011(2): 1 - 6.
- [25] 刘世友. 钒的应用与展望[J]. 稀有金属与硬质合金, 2000(2): 58 - 61.
- [26] 文喆. 国内外钒资源与钒产品的市场前景分析[J]. 世界有色金属, 2001(11): 7 - 8.
- [27] 闵世俊. 钒钛磁铁矿尾矿中钒的提取工艺和动力学研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2009.
- [28] 魏娟. 攀枝花钒钛磁铁矿尾矿中镓的分离富集与测定[D]. 成都: 成都理工大学, 2018.
- [29] 黄雯季, 卢可可. 攀西钒钛磁铁矿尾矿中钪的提取工艺研究[J]. 矿产综合利用, 2020(2): 135 - 139.
- [30] 杨伟卓. 钒钛磁铁矿尾矿中金银镍钴铜的综合回收利用工艺[D]. 湘潭: 湘潭大学, 2015.
- [31] 刘长森, 吴东印, 吕子虎, 等. 某钒钛磁铁矿尾矿中钛铁矿的选矿研究[J]. 中国矿业, 2015, 24(5): 115 - 117, 128.
- [32] 孟祥然, 周月鑫, 郭晓影. 铁尾矿综合利用研究综述[J]. 辽宁科技学院学报, 2019, 21(3): 11 - 14.
- [33] 吕兴栋, 刘战鳌, 朱志刚, 等. 尾矿作为水泥和混凝土原材料综合利用研究进展[J]. 材料导报, 2018, 32(S2): 452 - 456.
- [34] 胡毅, 冉启瑜, 张明胜. 四川盐边县红格钒钛磁铁矿矿石矿物及化学成分分布特征[J]. 贵州地质, 2020, 37(1): 40 - 45.
- [35] TECK - ANG K, ARUL A, SUKSUN H, et al. Strength assessment of spent coffee grounds - geopolymer cement utilizing slag and fly ash precursors[J]. Construction and Building Materials, 2016, 115: 565 - 575.
- [36] 刘海军, 赵丽丽. 钒钛磁铁矿尾矿的活化及用作水泥混合材的试验研究[J]. 钢铁钒钛, 2020, 41(4): 97 - 102.
- [37] 杨飞, 孙晓敏. 利用钒钛磁铁矿尾矿制备普通硅酸盐水泥熟料的研究[J]. 钢铁钒钛, 2020, 41(2): 75 - 81.
- [38] 侯云芬, 赵思儒. 铁尾矿粉对混凝土性能的影响研究[J]. 粉煤灰综合利用, 2015(3): 17 - 19, 24.
- [39] 刘娟红, 吴瑞东, 李生丁. 改性铁尾矿微粉混凝土的性能研究[J]. 江西建材, 2014(12): 92 - 96.
- [40] 刘佳, 倪文, 于森. 用粉煤灰和铁尾矿制备高强度混凝土[J]. 材料研究学报, 2012, 26(3): 295 - 301.
- [41] 李德忠, 倪文, 郑永超, 等. 大掺量铁尾矿高强度混凝土材料的制备[J]. 金属矿山, 2010(2): 167 - 170.
- [42] 王修贵, 秦连银. 利用钒钛磁铁矿尾矿制备高强度混凝土的试验研究[J]. 钢铁钒钛, 2019, 40(3): 77 - 82.
- [43] 石磊, 宋宵. 钒钛磁铁矿尾矿对蒸压加气混凝土砌块的影响[J]. 钢铁钒钛, 2020, 41(3): 84 - 89.
- [44] 李胜, 郑永超, 陈旭峰, 等. 某钒钛磁铁矿尾矿微粉对自密实混凝土性能的影响[J]. 金属矿山, 2019(11): 192 - 196.
- [45] YAN ZD, FENG FQ, TIAO J, et al. Effect of high titanium blast fur-

- nace slag on preparing foam glass - ceramics for sound absorption [J]. *Journal of Porous Materials*, 2019, 26: 1209 - 1215.
- [46] CHEN ZW, WANG H, JI R, et al. Reuse of mineral wool waste and recycled glass in ceramic foams [J]. *Ceramics International*, 2019, 45: 15057 - 15064.
- [47] XI CP, ZHENG F, XU JH, et al. Preparation of glass - ceramics foam using extracted titanium tailing and glass waste as raw materials [J]. *Construction and Building Materials*, 2018, 190: 896 - 909.
- [48] 李林, 姜涛, 陈超, 等. 攀西钒钛磁铁矿尾矿制备储水泡沫陶瓷的研究[J]. *矿产综合利用*, 2020(6): 1 - 9.
- [49] LI L, JIANG T, CHEN B, et al. Overall utilization of vanadium - titanium magnetite tailings to prepare lightweight foam ceramics [J]. *Process Safety and Environmental Protection*, 2020, 139: 305 - 314.
- [50] 陈永亮, 李杨, 张惠灵, 等. 高掺量低硅铁尾矿制备瓷质砖的研究[J]. *硅酸盐通报*, 2016, 35(3): 927 - 932.
- [51] 陈永亮, 杜金洋, 张惠灵, 等. 铁尾矿掺量对尾矿瓷质砖性能和结构的影响[J]. *中国陶瓷*, 2018, 54(11): 42 - 47.
- [52] 崔雅婷. 高岭石型硫铁矿浮选尾矿的几种资源化利用工艺研究[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2019.
- [53] 李华彬, 何安西, 邓天秀, 等. 尾矿瓷质砖配方及烧成工艺研究[J]. *中国陶瓷*, 1999(1): 3 - 5.
- [54] 陈城. 钒钛磁铁矿尾矿库资源量调查及尾矿资源化利用[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2020.
- [55] 吕子虎, 赵登魁, 程宏伟, 等. 某钒钛磁铁矿尾矿资源化利用[J]. *有色金属(选矿部分)*, 2020(1): 55 - 58.

Research Progress on Comprehensive Utilization of Vanadium - Titanium Magnetite Tailings

CHEN Tao¹, JIAN Sheng^{1,2}, XIE Xian^{*1}, ZHANG Ying¹, LI Jie¹, LI Boqi¹, ZHU Hui¹

1. School of Land and Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China;
2. Kunming Metallurgical Research Institute, Kunming 650503, Yunnan, China

Abstract: At present, the methods of comprehensive utilization of vanadium - titanium magnetite tailings are mainly divided into two categories: tailings reparation (Valuable metal recycling) and overall utilization. According to the nature and composition of the tailings, in the tailings reparation uses gravity separation, magnetic separation, flotation, chemical beneficiation and combined separation and other beneficiation processes are used mainly for recovery the valuable elements from the tailings; In overall utilization tailings are mainly used to prepare building materials, ceramics and tiles. This method can consume a large amount of tailings and can effectively solve the problem of tailings inventory. Based on the existing research work, it is pointed out that the research on the "physical properties" (physical and chemical properties) of the tailings is the basis for the recovery of valuable elements from the tailings, and strengthens the joint separation process, fine - grained useful mineral recovery technology and new equipment research is the development direction of comprehensive utilization of vanadium - titanium magnetite tailings in the future.

Key words: vanadium - titanium magnetite; comprehensive utilization of tailings; physical mineral processing; chemical beneficiation; combined sorting process

引用格式: 陈桃, 简胜, 谢贤, 张英, 黎洁, 李博琦, 朱辉. 钒钛磁铁矿尾矿综合利用研究进展[J]. *矿产保护与利用*, 2021, 41(1): 174 - 178.

Chen T, Jian S, Xie X, Zhang Y, Li J, Li BQ, and Zhu H. Research progress on comprehensive utilization of vanadium - titanium magnetite tailings[J]. *Conservation and utilization of mineral resources*, 2021, 41(1): 174 - 178.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E - mail: kcbh@chinajournal.net.cn