

综合评述

尾矿资源化研究在铅锌尾矿中的应用

阎 赞¹, 王 想², 徐名特³, 王闻单⁴, 周春生⁵

(1. 商洛学院化学工程与现代材料学院, 陕西 商洛 726000; 2. 隆基电磁科技股份有限公司, 辽宁 沈阳 113122;
3. 辽宁科技大学, 辽宁 鞍山 114000; 4. 昆明有色冶金设计研究院股份公司, 云南 昆明 650051;
5. 陕西省尾矿资源综合利用重点实验室, 陕西 商洛 726000)

摘要: 铅锌尾矿的大量存在, 不仅造成了其中有价组分的流失, 同时对环境带来极大危害。为了进一步回收铅锌尾矿中的有价组分, 保护尾矿区的生态环境, 综述了铅锌尾矿资源的利用现状及发展趋势, 其中重点综述了铅锌尾矿再选技术、生产建筑材料、尾矿充填以及尾矿区复垦。铅锌尾矿资源的综合利用, 对实现资源效益的最大化, 实践循环经济具有重要意义。

关键词: 铅锌尾矿; 选别方法; 有价组分; 建筑材料

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2017.01.001

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2017)01-0001-05

矿产资源具有不可再生性, 是人类赖以生存和发展的物质基础, 同时也是国家经济建设可持续性发展的重要保障。我国矿产资源虽然种类齐全, 但大部分属于贫矿和共伴生矿, 这就增加了后续选别作业的难度。近年来, 我国冶金业等的快速发展以及矿山规模的不断扩大, 使得矿产资源开发利用过程中丢弃的大量废石、尾矿、废渣也在逐年增多^[1-2]。这些堆存的尾矿占用了大量土地, 造成了严重的环境污染, 破坏了生态环境的同时, 也造成了许多宝贵资源的浪费。据不完全统计, 我国有色金属矿山尾矿的堆存量已超过 50 亿 t, 且仍以每年 5 亿 t 的速度增加^[3-4]。

1 铅锌尾矿资源现状

我国铅锌多金属矿矿产资源丰富, 矿石中常伴生有铜、银、金、铋、锑、硒、碲、钨、钼、锆、镓、铈、硫、铁的化合物及萤石等, 属于多种矿物的共生、伴生复合矿, 具有贫矿多、富矿少、矿物组成复杂、嵌布粒度较细等特点, 增加了其选别难度。再受限于分选技术、生产设备性能、经济条件、管理模式等因素, 导致有用矿物的回收率较低, 很多共生矿物、伴生矿物和有价元素进入尾矿之中, 产生大量的尾矿^[5-6]。据

中国有色金属工业年鉴数据, 2012 年我国铅锌矿出矿量 4 615 万 t/y, 尾矿排放量约为 3 387 万 t/y。我国铅锌尾矿综合利用率极低, 仅为 10% 左右, 与国外 60% 的综合利用率相差甚远。由于尾矿中硫含量较高, 导致矿山尾矿酸化, 随着酸化而发生的一系列重金属离子溶出等反应, 加剧了环境污染, 成为当地村民生活中巨大的危险源^[7-8]。因此, 采取适宜方法妥善处理铅锌尾矿资源, 提高其综合利用能力, 不但可以解决尾矿堆存占用大量土地资源的问题, 而且可以解决尾矿带来的环境问题, 实现资源效益的最大化, 对实践循环经济具有重要意义。

2 铅锌尾矿综合利用技术

近年来, 许多科研工作者针对铅锌尾矿组分复杂、粒度较细等特点, 在化学多元素分析、XRD 衍射分析、单体解离度分析等测试分析基础上, 提出了处理此类尾矿资源的新工艺、新方法。主要包括以下两种方法, 一是铅锌尾矿作为二次资源再选, 回收其中的有价组分铁、铜、锡等, 降低尾矿品位, 提高回收率。二是铅锌尾矿的直接利用, 即不经过选别作业而直接对尾矿进行利用, 包括利用尾矿制备建筑材料、尾矿充填和尾矿区复垦^[9-10]。这两种方法具有

收稿日期: 2016-01-05

基金项目: 陕西省尾矿资源综合利用重点实验室开放基金项目(2014SKY-WK011); 陕西省科技统筹创新工程基金资助项目(2012KTDZ02-02-01)

作者简介: 阎赞(1989-), 女, 助教, 硕士, 主要从事尾矿综合利用研究。

密切关系,矿山可以根据其铅锌尾矿特点选择单一再选工艺,或是联合两种途径。若铅锌尾矿中有价组分含量较低,通过再选不能达到有效缓解其大量堆存这一问题时,可以根据其化学成分用于制备建筑材料;对于在目前技术水平下还得不到有效利用的铅锌尾矿,可考虑将其填入采空区,即尾矿充填技术;另外,还可以根据铅锌尾矿区所含元素种类及其化学性质,选择种植适宜植物,实现尾矿区复垦。

2.1 尾矿再选

铅锌尾矿成分复杂、分布不均,含有多种有价元素,再选工艺已成为降低尾矿品位、提高有价组分回收率的重要途径。但因地域不同有价组分的种类及含量有很大差别,加之尾矿再选涉及原矿性质、原矿分选方法以及回收有用矿物的种类和数量等因素,因此不同类型的企业,其尾矿再选工艺也不尽相同。近年来,研究者们通过完善回收工艺、进行简单预选、优化产品方案等一系列方法对铅锌尾矿进行再选,取得了一定成果,使铅锌尾矿中有价组分的回收率大幅度提高^[11]。

云南某地铅锌浮选尾矿中铁品位为 17.74%,主要以磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿及硅酸铁形式存在,其中磁黄铁矿 18.73%,赤铁矿和褐铁矿 59.58%,硅酸铁 11.38%。基于此,赵鹤飞等^[12]采用弱磁-强磁-强磁粗精矿再磨-精选-浮选脱硫联合工艺对此尾矿进行选铁试验,最终所得精矿铁品位为 64.35%,回收率为 65.68%,硫含量为 0.19%,达到了很好的选别指标。

针对某锡多金属硫化矿选矿厂铅锌尾矿中硫和砷不能得到有效回收的问题,叶雪均等^[13]采用弱磁选-硫砷混合浮选-硫砷分离浮选工艺对该尾矿进行了综合回收硫和砷的试验研究。结果表明,硫砷分离浮选时采用砷的高效抑制剂 Y-As,在矿样含硫 30.75%、含砷 3.27% 的条件下,可获得硫品位为 43.14%、回收率为 64.12%、含砷 0.56% 的综合硫精矿和砷品位为 12.08%、砷回收率为 86.79% 的砷精矿,从而有效回收了尾矿中的硫和砷。

昆明理工大学雷力^[14]对龙泉铅锌尾矿中磁黄铁矿的回收进行了全面系统的试验研究。采用重选脱泥-浮选工艺,以硫酸为活化剂,二号油为起泡剂,丁基黄药为捕收剂,进行一粗两扫三精的闭路试验。在原矿硫品位 4.42%,铁品位 16.28% 的基础上,获得了硫品位 32.77%,铁品位 42.73%,硫回收率 81.26% 的良好指标。

为了回收某铅锌尾矿中的硫矿物,针对尾矿中磁黄铁矿含量高的特点,江西理工大学杨俊彦^[15]分

别进行了先浮后磁试验和先磁后浮试验。两种方案均采用硫酸活化,一粗一扫三精流程,通过试验证明,先浮后磁方案较佳。先磁后浮闭路试验得到了综合硫精矿硫品位为 33.92%,硫回收率为 92.15% 的良好指标。

江铜集团技术中心郭灵敏^[16]选用活化强化捕收等手段处理其公司铅锌尾矿中的磁黄铁矿,采用浮选-弱磁选-浮选联合工艺回收硫和铁,获得了品位 38.77% 的优质硫精矿及含硫 0.547%、铁 58.04% 的合格铁精矿。

贵州某铅锌矿选矿厂尾矿中铅锌矿物具有氧化程度高,粒度细,泥化严重等特点,冯忠伟等^[17]采用硫化矿优先混浮-混浮精矿锌硫分离-氧化铅矿硫化浮选工艺处理该尾矿,使尾矿中的铅、锌、硫矿物得到了有效回收,获得了较好的试验指标,其中氧化铅精矿的铅品位为 48.56%,铅回收率为 85.38%。

韦振明等^[18]针对某铅锌矿老尾矿有用矿物含量高的情况,对尾矿进行相关再选试验研究。采用磨矿后铅锌硫混浮、再磨铅锌与硫分离、尾矿重选的工艺流程,尾矿再选综合回收 Pb、Zn、Sn、Ag、In、S 均取得了较好的效果。闭路试验取得了硫精矿品位 28.83%,回收率 77.84% 的指标。

崔长征等^[19]通过对青海某铅锌尾矿的矿石性质进行分析,并在一系列试验研究基础上,确定采用浮选-重选联合工艺有效回收尾矿中的重晶石。在试样物料重晶石含量 65.58% 条件下进行试验,最终得到了 BaSO₄ 品位 90.18%、回收率 52.45% 的良好指标,达到了尾矿中重晶石的有效回收。

可见,由于铅锌尾矿中含有多种有价元素,组分复杂,采用单一选别工艺不能有效回收其中的有价组分。因此,在其化学多元素分析基础上,结合尾矿特性,一般考虑采用磁浮联合工艺、重浮联合工艺或磁重浮联合工艺对其进行高效选别,以达到提高尾矿利用率的目的。

2.2 直接利用

铅锌尾矿的直接利用也可称之为整体利用,包括利用尾矿制备建筑材料、尾矿充填和尾矿区复垦^[20]。这种方法可以从根本上实现少尾和无尾,进而达到尾矿的零排放。

2.2.1 建筑材料

由于某些铅锌尾矿的组分与建筑材料、轻工原料和无机化工原料等的组分相当接近^[21],因此,当铅锌尾矿中有价组分含量较低,且通过再选工艺不能有效缓解其堆存压力时,可以根据其化学成分的不同,制备适宜的建筑材料,进而解决尾矿堆存问

题,实现资源有效利用最大化。

青海某铅锌矿尾矿的矿物组成主要是石英、方解石、黄铁矿及绿泥石,粒度集中分布在 $-0.900+0.105\text{ mm}$ 。西南科技大学冯启明^[22]以该尾矿作骨料,添加少量普通硅酸盐水泥作胶结料,石灰作激发剂,废弃聚苯泡沫粒作预孔剂,加入适量混凝土发泡剂,通过浇注、捣打成型、养护28 d,制备出轻质免烧砖。当尾矿用量达到70%~80%时,免烧砖的抗压强度高达9.3 MPa,可用于建筑物填充砌块,属低能耗环保型墙体材料,实现了尾矿的资源化。

陕西省地质矿产勘查开发局赵新科^[23]以铅锌尾矿为原料,与当地粘土以质量比为3:2充分混合,压制成型后,在 1080°C 下焙烧8 h,得到了建筑用空心砖。经检测可知,此砖块可以完全满足国家建材行业对建筑空心砖质量的要求。其加工技术简单,并且取得了显著的经济效益。

郭艳平等^[24]以韶关乐昌铅锌矿尾矿和阴极射线管玻璃固体废弃物为主要原料,采用烧结法制备 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 系微晶玻璃。通过正交试验得到了各原料的最佳配比,即铅锌尾矿含量20%、阴极射线管玻璃含量30%、石英砂含量29.7%、方解石含量25%、 Al_2O_3 含量12%、晶核剂 TiO_2 含量1%。在此配比条件下制备出的微晶玻璃,机械性能良好,化学性能稳定。对其进行打磨抛光处理,测得其平均显微硬度为8.76 GPa,平均抗折强度为223.1 MPa。用酸和碱分别浸蚀此微晶玻璃,其质量分别降低0.43个百分点和0.58个百分点。

西安建筑科技大学沈雪飞等^[25]以陕南铅锌尾矿为主要原料制备天然水硬性石灰,压块成型后,进行 1000°C 下煅烧3 h和 1100°C 下煅烧5 h的条件试验,两种条件下制备出的天然水硬性石灰均能生成 C_2S 。进一步试验研究表明,粉料压块法是制备天然水硬性石灰的较佳方式,且较佳烧成温度为 1000°C ,较佳保温时间为3 h。

2.2.2 尾矿充填

对于在目前技术水平下还得不到有效利用的铅锌尾矿,可考虑将其填入采空区,即尾矿充填技术。对于采矿过程中形成的矿坑,若用其他地方运来的土壤进行填充,不仅增加运输成本,还会破坏环境;若不进行填充,则会导致地表和建筑物下陷,严重者可能会发生山体滑坡^[26]。因此,采用尾矿进行采空区回填,既解决了土壤运输的成本问题,减少了尾矿的堆存,同时可以有效防止地表变形,控制山体活动。尾矿充填技术可以说是直接利用尾矿最行之有效的途径之一^[27]。

尾矿充填技术可分为干式充填、水砂充填、分级尾砂充填、高浓全尾砂充填、膏体充填工艺,我国在此方面的技术达到了世界先进水平。20世纪90年代初,昆明有色研究院就开始了全尾砂充填的试验研究^[28],2006年中国恩菲在云南会泽铅锌矿设计成膏体填充系统,减少了尾矿的堆存,不仅有利于环境保护,而且创造了较大的社会效益^[29]。

由凡口铅锌矿、长沙矿山研究院和长沙有色冶金设计研究院共同合作开发的高浓度全尾矿胶结充填工艺,将凡口铅锌矿尾矿浆经高效浓密机一段脱水,圆盘真空过滤机二段脱水后,加入水泥与之混合搅拌,控制充填料浆的质量分数为70%~76%,最后经充填管路自流到井下进行充填,使得尾矿利用率高达95%以上^[30]。南京的铅锌银矿也利用此技术处理其尾矿,获得了较好的效果^[31]。

德国Bad Ground铅锌矿以重选尾砂和浮选全尾砂作为充填材料(其中重选尾砂粒度为 $0.8\sim30\text{ mm}$,浮选全尾砂粒度为 $-0.060\text{ mm } 50\%$),分别脱水后等质量混合,加入水泥,充填到采场^[32]。借鉴此技术,奥地利Bleiberg铅锌尾矿也建成了全尾砂的泵送填充系统^[33]。

可见,尾矿作为一种较好的充填材料,可以就地取材,免除了采集、破碎、运输等环节的工作量。随着现有探明的矿产资源的不断消耗,采矿将会进一步向更深处发展,使得地温、地压随之增加,那么尾矿充填技术将会得到大力发展。但充填技术一般采用进口设备,前期投资较大,限制了充填技术在中小型矿山的应用。因此,研发新设备,实现设备国产化是目前亟待解决的问题。

2.2.3 尾矿区复垦

随着科技的发展和学科间的相互渗透,尾矿的利用途径变得更加广泛。除了采用以上技术外,新技术、新工艺也在不断开拓,例如众所周知的尾矿区复垦技术。此项技术不仅是尾矿库减压的重要手段,还可以解决土地紧张问题。这对土地相对紧张的地区而言,无疑是一个良好的渠道。

我国尾矿区复垦技术包括以下三种:

第一,还在使用中尾矿库的复垦。针对此类尾矿库,可在尾矿坝坡面上种植草藤和灌木,以增加坝体的稳定性。Lei Dongmei^[34]对兰坪铅锌尾矿的复垦进行了研究,发现在种植植物之后,植物根部周围尾矿土壤的性质显著改善,土壤肥力显著增强,而且没有引发重金属在地上植物组织中的富集,尾矿综合利用的同时,又维护了生态环境。

第二,已满或局部干涸尾矿库的复垦。例如用

铅锌尾矿作为路基材料铺路,对低洼地带进行充填。湖南水口山铅锌矿正逐年在老尾矿上建设排球场、足球场等体育设施,建立儿童游乐园^[35]。

第三,尾矿直接复垦。我国华北、西北等干旱地区有许多间歇河,河内大小不一的河卵石使其不能用于耕地。若将尾矿直接复垦,进行围池造田,然后种植一些经济作物,不仅缓解了土地紧张问题,保持水土。同时,由于尾矿中含有的锌、锰、铜、钒、硼、铁等微量元素还可以维持植物的生长和发育^[36-37]。

我国在堆土复垦方面的研究技术较国外相对落后,美国、澳大利亚等国的堆土复垦率可达到80%^[38-39]。因此,加强学科间的渗透,将尾矿处理技术和生物技术联系起来,对于尾矿区复垦技术的发展具有重要意义。

3 铅锌尾矿综合利用的问题与对策

我国大多数铅锌矿山已经展开了资源综合利用工作,虽然取得了一些成绩,但由于综合利用科研工作的深度和广度都远远不够,导致至今并未形成一套完善的科学管理体系。从最初的矿物原料到后续的加工利用,每个环节的综合利用研究工作都不够深入细致,进而不能适应经济和社会的可持续发展。目前,铅锌尾矿资源利用存在尾矿综合利用技术落后,导致其综合利用率低;制备的高附加值产品少,相关的支持力度不够及政策欠缺等问题。针对以上问题,在后续的研究工作中,可以考虑开展以下方面的研究工作:

(1)从根本上控制铅锌尾矿的数量。加强铅锌尾矿的综合利用,提高选厂的技术水平,在提高铅、锌主元素回收率的同时,还要综合回收共伴生的金属元素和非金属元素,以减少细砂尾矿的产出量。

(2)加大对铅锌尾矿资源利用的科研投入力量,加强科技攻关力度,根据不同类型的铅锌尾矿资源,提出经济可行的开发途径,提高资源的利用率。

(3)加大相关政策的贯彻以及执行力度,进一步完善相关法律法规,规范铅锌尾矿资源利用项目的审批制度。

(4)大力支持和鼓励进行铅锌尾矿资源综合利用的企业和科研机构,引导其增加对尾矿利用的投入,将科学技术转化为生产力,加大力度生产高附加值产品,实现资源的可持续性发展。

4 结 语

(1)铅锌尾矿成分复杂、分布不均,并且地域的

不同导致有价值组分的种类及含量出现很大差别,在尾矿的开发利用过程中,要根据其性质和特点探索出有效的选别工艺,充分挖掘其中的价值。尾矿建材化利用是实现少尾和无尾化过程的有效途径,并且可以开发高附加值的建筑产品,创造较大的社会效益。尾矿充填技术是直接利用尾矿最行之有效的方法,根据我国目前的资源形势,具有很好的发展前景。尾矿区复垦技术是一项有待于联合生物学技术不断开发的新工艺,是专家学者们跨学科研究的新方向。

(2)开展铅锌尾矿综合利用工作,不仅解决了尾矿大量堆存问题,同时可以保护环境,实现资源效益最大化。通过不断的科技力量投入以及新技术、新工艺的大力推广,使我国铅锌尾矿资源利用率进一步得到有效提高,进而推进我国工业固体废弃物综合利用水平,逐步缩小与世界先进水平的差距。

参考文献:

- [1]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,2011(3):24-28.
- [2]张文朴. 我国有色金属尾矿综合利用进展[J]. 再生资源,2008(8):27-29.
- [3]孙晋美. 实施尾矿综合利用,实现无尾矿山生产的实践[J]. 中国科技投资,2008(24):27-29.
- [4]刘润华,许珠信,刘畅,等. 尾矿资源现状及综合利用技术的进展[J]. 黄金,2011,32(11):66-69.
- [5]雷力,周兴龙,文书明,等. 我国铅锌矿资源特点及开发利用现状[J]. 矿业快报,2007(46):1-4.
- [6]周文,孙志强,刘华,等. 铅锌尾矿综合利用中的合理用能诊断[J]. 金属材料与冶金工程,2011,39(2):25-28.
- [7]Sanghoon Lee. Geochemistry and partitioning of trace metals in paddy soils affected by metal mine tailings in Korea[J]. Geoderma,2006,135(10):26-37.
- [8]Luis Moreno and Ivars Naretnieks. Long-term environmental impact of tailings deposits[J]. Hydrometallurgy,2006,83(1-4):176-183.
- [9]吴荣庆. 我国铅锌矿资源特点与综合利用[J]. 中国金属通报,2008(9):15-17.
- [10]张金青. 我国矿山尾矿二次资源的开发利用[J]. 新材料产业,2007(5):18-23.
- [11]尾矿综合利用产业技术创新战略联盟成立[J]. 有色冶金节能,2010(2):49.
- [12]赵鹤飞,文书明,丰奇成,等. 铅锌浮选尾矿回收铁试验研究[J]. 有色金属:选矿部分,2014(2):56-59.
- [13]叶雪均,陈晓芳. 从某锡多金属矿铅锌尾矿中回收硫砷的选矿试验[J]. 金属矿山,2011(6):159-161.

- [14] 雷力. 从铅锌尾矿中回收磁黄铁矿选矿试验研究[D]. 昆明:昆明理工大学, 2008.
- [15] 杨俊彦, 叶雪均, 秦华伟. 某选锌尾矿回收硫矿物试验研究[J]. 矿山机械, 2013(6): 92-95.
- [16] 郭灵敏, 许小健. 某铅锌矿尾矿硫铁资源综合回收工艺试验研究[J]. 矿产保护与利用, 2011(4): 45-48.
- [17] 冯忠伟, 宁发添, 蓝桂密, 等. 贵州某铅锌尾矿中铅锌硫的综合回收[J]. 金属矿山, 2009(4): 157-160.
- [18] 韦振明, 张晓宝, 赖春华, 等. 某铅锌矿尾矿综合回收选矿试验研究[J]. 金属矿山, 2008(11): 152-155.
- [19] 崔长征, 侯明亮, 孙阳, 等. 从铅锌尾矿中回收重晶石的应用研究[J]. 矿产综合利用, 2011(3): 57-59.
- [20] 刘志远, 刘明宝, 王建英, 等. 中国矿山尾矿资源利用的技术与对策[J]. 煤炭技术, 2014, 6(6): 1-3.
- [21] 梅国栋. 尾矿综合利用与无尾矿山建设探讨[J]. 金属矿山, 2010(10): 142-145.
- [22] 冯启明, 王维清, 张博康, 等. 利用青海某铅锌矿尾矿制作轻质免烧砖的工艺研究[J]. 非金属矿, 2011, 34(3): 6-8.
- [23] 赵新科. 南沙沟铅锌尾矿综合利用试验研究[J]. 矿产保护与利用, 2010(1): 52-54.
- [24] 郭艳平, 钟高辉, 区雪莲, 等. 利用铅锌尾矿和CRT玻璃固体废弃物协同制备微晶玻璃工艺[J]. 再生利用, 2014, 7(15): 30-33.
- [25] 沈雪飞, 薛群虎, 徐亮, 等. 利用铅锌尾矿制备天然水硬性石灰可行性研究[J]. 硅酸盐通报, 2013, 32(10): 1973-1978.
- [26] 张保义, 石国伟, 吕宪俊, 等. 金属矿山尾矿充填采空区技术的发展概况[J]. 金属矿山, 2009(S1): 272-275.
- [27] 杨国华, 郭建文, 王建华. 尾矿综合利用现状调查及其意义[J]. 矿业工程, 2010(1): 55-57.
- [28] 张进德. 我国矿山地质环境形势分析[A]. 中国地质学会 2011 年学术年会论文摘要汇编[C]. 2011. 662-665.
- [29] 张羽. 铅锌尾矿资源化利用研究进展[J]. 环境工程, 2014(S1): 734-736.
- [30] 刘侦德, 李蔷, 伏志宏. 凡口铅锌矿堆存尾砂资源开发利用研究调查[J]. 采矿技术, 2008, 8(5): 101-102.
- [31] 张利珍, 赵恒勤, 马化龙, 等. 我国矿山固体废物的资源化利用及处置[J]. 现代矿业, 2012(10): 1-5.
- [32] 唐宇, 吴强, 陈甲斌, 等. 提高我国尾矿资源综合利用效率的思考[J]. 金属材料与冶金工程, 2012(3): 59-63.
- [33] 夏长念, 孙学森. 充填采矿法及充填技术的应用现状及发展趋势[J]. 中国矿山工程, 2014, 43(1): 61-64.
- [34] Dongmei Lei, Changqun Duan. Restoration potential of pioneer plants growing on lead-zinc mine tailings in Lanping, southwest China [J]. Environmental Sciences, 2008, 20(10): 1202-1209.
- [35] 何芳, 乔冈, 刘瑞平, 等. 矿山土地复垦模式探讨[J]. 西北地质, 2013, 46(2): 201-209.
- [36] 陈益泰, 施翔, 王树凤, 等. 铅锌尾矿区 15 种植物的生长对重金属的吸收积累[J]. 林业科学, 2012, 48(12): 22-30.
- [37] 杨刚, 沈飞, 钟贵江, 等. 西南山地铅锌矿区耕地土壤和谷类产品重金属含量及健康风险评价[J]. 环境科学学报, 2011, 31(9): 2014-2021.
- [38] 张凤麟. 发达国家矿地复垦保证金制度及对中国的启示[J]. 中国矿业, 2006, 15(9): 5-8.
- [39] 陈赞. 我国尾矿问题分析与土地复垦综合利用[J]. 中国矿业, 2012(4): 76-79.

Utilization Situation and Development Trend of Lead and Zinc Tailing Resources

Yan Zan¹, Wang Xiang², Xu Mingte³, Wang Wendan⁴, Zhou Chunsheng⁵

(1. College of Chemical Engineering and Modern Materials, Shangluo University

2. Longji Magnet Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, China;

3. University of Science and Technology Liaoning, Anshan, Liaoning, China;

4. Kunming Engineering & Research Institute of Non Ferrous Metallurgy Co., Ltd., Kunming, Yunnan, China;

5. Shaanxi Key Laboratory of Comprehensive Utilization of Tailings Resources, Shangluo, Shaanxi, China)

Abstract: The great piling of lead and zinc tailings not only causes the loss of some valuable components, but also brings great damage to the environment. In order to recover the valuable components in lead and zinc tailings and protect the ecological environment of mining area, the utilization situation and development trend are described. The re-concentration of tailings, production of architectural materials, tailings backfilling, and soil reclamation are mainly recommended, which attached vital significance to the maximum of resource benefit and circular economy.

Keywords: Lead and zinc tailings; Separation method; Valuable components; Architectural materials