

低品位复杂难处理氧化铅锌矿选矿工艺分析

刘彦昱

锡林郭勒盟山金阿尔哈达矿业有限公司 内蒙古锡林郭勒盟 026000

摘要:近年来,我国高质量的铅锌矿资源日趋耗竭,矿产开发正转向低品位复杂矿石,也就是贫杂矿。但氧化铅锌矿石性质复杂,嵌布粒径小,伴生元素多,常规分选工艺很难获得令人满意的分选结果。因此,研究适合我国国情的高效选矿技术具有十分重要的意义。基于此,本文对重选、浮选、浸出、联合等选矿工艺进行了分析,通过对我国低品位复杂难选强化铅锌矿的分选过程进行解析,探索这些技术的实用性及优选方法,为该行业的发展奠定理论基础。

关键词:低品位;复杂难处理;氧化铅锌矿;选矿工艺

一、低品位复杂难处理氧化铅锌矿的特点

(一) 矿石品位低且氧化程度高

低品位复杂难选氧化铅锌矿的主要特征是铅锌矿物的品位低,严重制约了该矿的可开发利用价值。该类矿物中Pb、Zn的比例一般为3%~5%、5%~10%,是一种低品位矿,给矿物加工工艺提出了严峻挑战。因为该矿石中Pb、Zn含量偏少,即使采取了有效的分选技术,其回收率及经济效益仍不能令人满意。这就导致了矿业企业在处置此类矿产时,存在着投资高、回报少等问题,影响了矿产资源的效益。另外,该类矿床普遍氧化,且大部分含铅、锌、铅等元素呈氧化态,给选矿过程带来了困难。其中,铅的氧化物矿物主要是白铅矿(PbCO_3)、铅矾(PbSO_4)等,锌的氧化物矿物包括:锌钒(ZnCO_3)、异极矿 $\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 等。氧化矿物不能采用传统的硫化矿选矿工艺,因其成分及物性差异较大,导致常规含硫矿石的分选工艺在这类矿石中的应用效率较低,制约了其高效分选。^[1]由于氧化型矿石的出现,使得矿石的分选过程变得更为困难和复杂,因此需要对矿石采用焙烧、浸出等多种化工工艺。这既提高了选矿生产费用,又提高了生产装备与工艺要求。

(二) 矿物嵌布关系复杂

低品位复杂难选氧化铅锌矿具有复杂的矿物嵌布关系,其本质表现为矿石粒度分布不均匀、界面边界不明确等。铅锌矿多为微细、分散分布于众多脉石矿物(如石英、方解石、白云石等)中。铅锌矿石和脉石矿物界线不清,且常呈混杂状态,给矿石分选带来很大困难。更为严重的是,一些铅锌氧化型矿物还与赤铁矿、褐铁

矿等其他铁矿物有密切的伴生,导致了矿石的分解困难,从而直接制约了分选效率。其中,铅锌矿石粒径多为20~50 μm ,导致了矿石中金属元素的解离程度非常低。在常规破碎磨碎流程中,矿石粒度不易完全解离,影响了分选效率。由于矿石间的相互镶嵌作用,使得分选过程必须满足一定条件,不然将很难达到预期的分选结果。

(三) 伴生元素种类多且含量高

低品位复杂难选氧化铅锌矿往往包含铜、铁、镉、银和金等多种伴生元素。伴随着大量的伴生元素,使矿物加工过程变得更加复杂,同时也会给生态系统造成严重的污染和经济问题。比如,矿物中的铜(Cu)含量在0.1%~0.5%范围内,尽管Cu的含量较低,但其化学性质较为复杂,难以与Pb、Zn分离,且需进行专门的流程处理,且处理难度较大。^[2]铁(Fe)含量大约为3%~7%,这一含量较高,会对后面的冶炼工艺产生不利的影响,必须对其进行预处理。此外,尽管镉、银和金在矿物中的含量很小,但其经济价值较高,尤其是金、银资源,对其进行有效的提取,有利于提升矿石的综合利用价值。但其提取过程涉及到浮选、浸出等过程,不但会导致生产费用的提高,而且还会加大对资源、劳动力的投入。同时,也应注意到生态系统中的环境风险。镉是一种有毒的元素,对人类的身体和生态安全造成了极大的威胁。由于镉的存在,矿物选矿工艺需要对其进行有效的治理,避免其流入到环境中,引起水土污染,从而对生态和人体健康产生不利影响。其中,镉等重金属的处理,需采取化学沉淀、吸附等特殊环境保护工艺,导致过程复杂,

且生产成本高。同时，由于伴生元素种类繁多、含量波动大，导致分选过程无法规范化，且同一批次的矿石加工过程也不尽相同，因此，对企业的技术储备及生产经营都有较高要求。

（四）脉石矿物含量高

低品位复杂难选氧化铅锌矿的又一突出特征是脉石成分较多。该类矿物中石英、方解石、白云石、黏土矿物等脉石矿物占矿物总量的50%以上，有的高达70%~80%。这类高含量的矿物，不但会导致其有效品位下降，导致有效铅锌成分难以抽提，而且会大大提高流程所需加工材料的用量，从而导致分选效率下降。同时，脉石物质的出现也严重地影响了选别试剂的用量，从而提高了矿石加工的费用。其中，由于含有大量的脉石矿物，如石英、方解石等，要求采用多种浮选试剂才能达到高效分选，且价格昂贵，且具有潜在的生态风险。^[4]另外，部分脉石矿物，例如黏土，其黏度大，在生产中极易产生淤渣。这种淤渣将妨碍矿石的浮起与浸出，使矿石的高效分选更为困难，且耗费时间。另外，由于泥浆的出现，也会造成设备的损耗与阻塞，提高了设备维修与替换的费用，进而使矿物加工的困难与成本大大提高。同时，高含量的脉石矿物也会导致矿石的理化特性发生变化，从而对流程的优化与调控产生不利的作用。因此，脉石矿物高的低品位复杂难选铅锌矿的选矿面临着巨大的技术难题和经济压力。

二、低品位复杂难处理氧化铅锌矿选矿工艺

（一）重选工艺

重选技术是解决我国低品位复杂难选氧化铅锌矿的重要途径，其核心技术是通过重力分选装置，根据矿粒间的密度差来进行分选。此方法操作简便，成本低廉，但对矿物的物性条件有较高的要求。为了使其符合重选性要求，必须对原矿进行粉碎、筛选，以确保其达到重选粒度，保障生产效率与效果。在生产实践中，采用的是破碎、筛分、跳汰、摇床四个工序。首先，在粉碎和筛选阶段，对矿物进行适当的颗粒级配，使其易于进行下一步的重力分选。在这个流程中，粉碎装置把大块的矿石粉碎为细小的微粒，而筛分装置是用来将各种粒径的原矿进行分选，以保证送入再分选装置的原矿的粒径是一致的。^[5]然后，在跳汰过程中，通过水流和重力的作用，对高密度的矿石和低密度的矿石进行分选。在此基础上，采用摇床技术对分选工艺进行优化，利用台面的震动与斜面的作用，将矿石按照不同的密度、不同的

大小进行分级，从而提高分选的准确性。虽然重选法的金属回收率不高，但是它的投资与运行费用都很低廉，尤其适用于预处理原矿中的粗颗粒金属。另外，采用重选法可以减轻浮选工序的负荷，使整个过程的整体回收率得到较大的改善。研究表明，采用重选法对含铅、锌、铅、锌、锰等资源进行综合利用，取得了较好的效果，为今后的生产过程打下了坚实的基础。

（二）浮选工艺

浮选工艺其关键是调控矿浆中的化学环境，促使其与气泡结合并浮出，达到高效分选的目的。浮选过程由破碎、磨碎、搅拌、浮选、浓缩组成。首先，对矿石进行粉碎、研磨，使其符合浮选要求的粒度，从而保证了矿粒的完全解离。然后将矿浆输送到浮选容器中，并在此过程中添加捕收剂、起泡剂、调整剂等多种药剂。这些药剂能够改变矿物表面的性质，使其产生亲水性或疏水性。在浮选时，气泡与靶矿相混合，浮升到矿浆的表层，从而产生矿化泡沫。将这种矿化的泡沫从矿石中刮出来，再进行深加工，就可以获得精矿。捕收剂的主要功能是去除目标矿石的表层疏水性，提高其对泡沫的附着能力；起泡剂通过减小溶液的表面张力，在其表面生成一个稳定的泡沫，从而实现矿物颗粒的有效分散与吸附。另外，还使用了调整剂来调控矿浆pH及矿物的荷电性，使其达到最佳的浮选效果。但是，由于选矿过程中所使用的化学药品种类及数量都有很大的需求，因此，要想进一步提升选矿过程中的金属回收率和精矿品位，就需要对其进行持续的优化。同时，还需要对选矿过程中产生的污水进行治理，最大限度地降低对环境的影响，是达到“绿色采矿”目的的重要一步。所以，浮选过程不仅仅是一个简单的矿石分选过程，而是一个涉及矿物学、化学、环境等多学科交叉的系统工程。

（三）焙烧-浸出工艺

在焙烧-浸出过程中，浸出步骤是其中最关键的一步，即用化学溶液将焙烧矿中的有价金属溶出。焙烧后的矿物经过粉碎、筛分等前处理后，再送入浸出装置。采用硫酸法、盐酸法或碱液法，对不同的矿物进行了浸出处理。为了改善浸取效果及金属的回收，一般需在特定的温度和压力条件下进行。为保证矿石与浸取剂的有效作用，还需要对浸出时间、液固比和搅拌速率等进行严格的调控。在浸出工艺中，铅、锌等有价金属逐步溶出，而含非金属的杂质却滞留于固相中，构成浸出残渣。浸出后的溶液一般要进行固液分离，除去残余物，得到

纯净的金属溶液。采用过滤、离心等方法进行了固液分离，选用适当的方法能有效地改善分离效果。在此基础上，进一步采用电解、沉淀、溶剂提取等手段，实现对重金属的高效提取。在提取工艺中，既要注意金属的回收，又要考虑浸出液的处理和回收利用，这样才能降低废水的排放量，减少对环境的影响。对浸出后的残渣要加以合理的处置或者综合使用，以防止二次污染。焙烧-浸出过程的浸出过程是有效溶出焙烧矿中有价金属的重要过程，通过对浸出过程及过程参数的调控，达到对复杂难选矿产资源的有效开发。

(四) 生物浸出工艺

生物浸出技术是一种新型的基于微生物的代谢活动对矿石中的金属组分进行浸出的技术，尤其适合在低品位、复杂、难以处置的氧化铅锌矿中应用。其工艺流程为：微生物培养-矿石预处理-浸出反应-回收。^[6]首先，选择氧化亚铁硫杆菌、氧化硫硫杆菌等特殊微生物，对其进行定向培养，使其具有较高的催化活性。这些微生物可以将矿物中的金属元素分解，然后进行氧化-还原作用。为进一步强化微生物作用，须将矿石粉碎、研磨，以增大其表面及利于细菌与矿物质的有效接触。在此基础上，将矿物与已培育的微生物共混，置于温度可控的反应器内进行浸取。在此工艺中，通过微生物自身的新陈代谢，生成一种酸性物质，可以将矿物中的金属元素高效的浸出，并使其进入溶液中。在浸出完成后，采用一种新的物理化学手段，从溶液中分离出不同的金属组分。相对于常规的高温高压物化技术，该技术无需高温、压力等复杂的反应过程，具有能耗低、操作简便、环保等优势，可有效降低能耗和装置费用，且不产生有毒气体。但由于其溶出速率比较缓慢，更适合低品位矿及含有大量难选矿物的复杂矿石。该过程虽存在速率偏低等缺点，但可通过对微生物种类的改造及微生物种类的筛选，实现对矿物的高效提取，是解决上述难题的重要途径。生物-浸出技术是一项既能实现矿产资源高效

开发，又能解决环保问题的有效途径，也是当今世界上最具发展前景的一项新技术。经过持续的研究与开发，将使生物-浸出技术在低品位复杂难处理氧化铅锌矿资源开发中占有越来越大的比重，并将其作为抵御资源耗竭与环境污染的有力手段。

结束语

综上所述，低品位复杂难处理氧化铅锌矿的选矿一直以来困扰着采矿领域，随着全世界矿产资源的耗竭，针对此类型矿石的选矿工艺研究已成为迫切需要解决的课题之一。针对品位低、氧化程度高、矿物嵌布复杂、伴生元素多等特征，采用重选、浮选、焙烧-浸出、生物浸出等工艺，能够提升此类矿石的选矿水平。未来，相关人员应深入研究相关工艺，以促进选矿工艺的不断发展，为采矿行业的可持续发展提供有力的支持。

参考文献

- [1] 李智伟, 廖润鹏, 张谦, 文书明. 云南兰坪氧化铅锌矿工艺矿物学研究[J]. 有色金属工程, 2023, 13(12): 65-77+162.
- [2] 陈海君, 谢海云, 陈家灵, 晋艳玲, 曾鹏, 宋紫欣, 张群丽, 刘殿文. 氧化铅锌矿浮选捕收剂研究进展[J]. 矿产保护与利用, 2023, 43(05): 42-53.
- [3] 钱丽丹, 黄海威, 任嗣利. 氧化铅锌矿浮选研究现状[J]. 有色金属(选矿部分), 2023, (05): 42-50.
- [4] 陈园园, 文金磊. 高泥高氧化率氧化铅锌矿浮选工艺研究[J]. 湖南有色金属, 2022, 38(06): 13-16+72.
- [5] 余裕森, 崔立雪, 王云帆, 张利波. 低品位氧化铅锌矿磨浸协同工艺强化碱法提锌[J]. 中国有色金属学报, 2023, 33(09): 3043-3053.
- [6] 肖毕高, 马绍斌, 刘殿传, 刘俊场. 低品位氧化铅锌矿火法回收处理生产实践[J]. 云南冶金, 2022, 51(02): 106-110.