

磨矿细度优化及浮选回收试验研究

张晓羊

栾川龙宇铝业公司

摘要：磨矿细度是决定矿物单体解离度、影响浮选回收效率与产品品质的核心工艺参数，其合理性直接关系矿产资源利用率与选矿生产成本。本文以某硫化矿为试验对象，结合试验结果提出磨矿-浮选协同优化策略，为提升选矿工艺效率、降低资源浪费、优化生产成本提供试验支撑与实践指导。

关键词：磨矿细度；浮选回收；单体解离度；试验研究；工艺优化；回收率

1 试验原料与试验方案

1.1 试验原料

试验原料取自某选矿厂原矿，经破碎、混匀、缩分后备用，原料主要有用矿物为黄铁矿、黄铜矿，脉石矿物主要为石英、长石及少量黏土矿物。矿石多元素分析显示，有用矿物嵌布粒度较细，呈不均匀嵌布特征，部分有用矿物以连生体形式存在，需通过合理磨矿实现充分解离。原料含水率控制在2%以内，入磨粒度小于2mm，确保磨矿试验的稳定性与代表性，矿样单独密封存放，避免氧化与污染。

1.2 试验设备与药剂

试验采用实验室锥形球磨机进行磨矿作业，配套振筛机、标准筛用于磨矿细度检测，浮选作业采用单槽浮选机，辅以电子天平、鼓风干燥箱等设备，确保试验设备符合选矿试验技术规范。浮选药剂选用丁基黄药作为捕收剂，2#油作为起泡剂，石灰作为调整剂，药剂均为工业级，用量根据试验方案精准调控，避免药剂用量不合理对试验结果造成干扰。

1.3 试验方案

试验核心分为磨矿细度优化试验与浮选回收试验两部分，采用单因素变量法，固

定其他工艺参数，仅改变磨矿细度，研究其对浮选回收指标的影响。磨矿细度设置 5 个梯度，以-74 μm 粒级含量为评价标准，分别为 60%、65%、70%、75%、80%，每个梯度设置 3 组平行试验，取平均值作为试验结果，确保数据可靠性。浮选试验固定矿浆浓度、药剂用量、浮选时间及充气量等参数，磨矿产品直接进入浮选作业，完成粗选、精选、扫选流程，检测并记录精矿品位、尾矿品位及有用矿物回收率，分析磨矿细度与浮选指标的关联规律，确定最优磨矿细度。

2 磨矿细度优化试验结果与分析

2.1 磨矿细度与矿物解离度的关系

矿物解离度是衡量磨矿效果的核心指标，直接影响浮选回收效率。试验结果表明，磨矿细度与矿物解离度呈正相关关系，随着磨矿细度提高，有用矿物单体解离度逐步提升。当-74 μm 粒级含量从 60%提升至 70%时，有用矿物单体解离度显著提高，连生体含量大幅下降，此时大部分有用矿物实现充分解离，为浮选分离奠定基础。当磨矿细度继续提升至 75%以上时，解离度提升幅度趋于平缓，主要因为此时大部分有用矿物已完全解离，进一步提高磨矿细度仅能轻微减少连生体含量，无法显著提升解离效果。

2.2 磨矿细度与磨矿能耗的关系

磨矿能耗是选矿生产成本的重要组成部分，与磨矿细度呈正相关关系。随着磨矿细度提高，磨矿时间延长，钢球磨损加剧，磨矿能耗显著上升。当-74 μm 粒级含量从 60%提升至 80%时，磨矿单位能耗增加 40%以上，其中-74 μm 粒级含量从 70%提升至 80%时，能耗增幅达到 25%，但解离度提升幅度不足 5%，说明过度磨矿会导致能耗浪费，增加生产成本。综合来看，磨矿细度控制在-74 μm 粒级含量 65%-75%时，可实现解离度与能耗的平衡。

3 浮选回收试验结果与分析

3.1 磨矿细度对精矿品位的影响

精矿品位是衡量浮选产品品质的核心指标，磨矿细度对其影响呈现先升后降的趋势。当-74 μm 粒级含量从 60%提升至 70%时，精矿品位逐步提高，主要因为随着磨矿细度提升，有用矿物解离度增加，浮选分离选择性增强，脉石矿物夹带量减少。当磨矿细度继续提升至 75%以上时，精矿品位开始下降，主要因为过磨产生大量矿泥，矿泥吸附浮选药剂，覆盖有用矿物表面，降低浮选选择性，导致脉石矿物夹带量增加，精矿品位降低。试验显示，-74 μm 粒级含量为 70%时，精矿品位达到最高。

3.2 磨矿细度对尾矿品位及回收率的影响

尾矿品位与有用矿物回收率直接反映资源利用效率，二者与磨矿细度的关联密切。当-74 μm 粒级含量从 60%提升至 70%时，尾矿品位逐步降低，有用矿物回收率显著提升，主要因为有用矿物解离充分，能够被有效浮选回收，减少有用矿物在尾矿中的残留。当磨矿细度超过 70%后，尾矿品位开始上升，有用矿物回收率趋于下降，主要因为过磨产生的矿泥干扰浮选过程，导致部分有用矿物无法有效附着在气泡上，随尾矿排出，同时矿泥吸附药剂，降低药剂利用率，进一步影响回收效果。

3.3 最优磨矿细度确定

结合磨矿细度优化与浮选回收试验结果，综合考量矿物解离度、磨矿能耗、精矿品位及有用矿物回收率，确定本次试验的最优磨矿细度为-74 μm 粒级含量 70%。此时，有用矿物单体解离度达到 88%以上，磨矿能耗处于合理范围，精矿品位与有用矿物回收率均达到最优，分别为 28.6%和 82.3%，尾矿品位降至 1.2%以下，实现了资源回收与生产成本的平衡，符合实际生产需求。

4 磨矿-浮选协同优化策略

4.1 优化磨矿工艺参数

根据试验确定的最优磨矿细度，调整磨矿工艺参数，优化钢球配比，增加细直径钢球比例，提升细粒级矿物研磨效果，确保磨矿产品粒度分布均匀。控制磨矿浓度在 65%-75%，优化分级效率，采用高频细筛进行分级，减少粗粒级矿物进入浮选系统，避免欠磨现象。合理控制磨矿时间，避免过磨产生矿泥，降低磨矿能耗与钢耗，提升磨矿工艺稳定性。

4.2 匹配浮选工艺参数

针对最优磨矿细度，优化浮选药剂制度，调整捕收剂与起泡剂用量，减少矿泥对药剂的吸附，提升浮选选择性。当磨矿细度达到最优值时，适当降低捕收剂用量，避免脉石矿物误选，同时调整浮选时间与充气量，确保有用矿物充分上浮，减少尾矿中有用矿物残留。优化浮选流程，采用一粗两精一扫的浮选工艺，提升精矿品位与回收率。

4.3 强化过程管控

建立磨矿细度实时监测体系，采用在线检测设备，实时采集磨矿产品粒度数据，及时调整磨矿参数，确保磨矿细度稳定在最优范围。加强矿浆预处理，采用分散剂减

少矿泥团聚，降低矿泥对浮选的干扰。建立试验数据与生产数据的联动机制，根据矿石性质变化，动态调整磨矿与浮选参数，提升工艺适应性，确保浮选回收指标稳定。

5 结论与展望

本文通过系统的磨矿细度优化及浮选回收试验，明确了磨矿细度与矿物解离度、磨矿能耗及浮选回收指标的内在关联，得出以下结论：磨矿细度对矿物解离度与浮选回收效果影响显著，呈现先优化后恶化的趋势；最优磨矿细度为-74 μm 粒级含量70%，此时矿物解离充分、能耗合理，浮选精矿品位与有用矿物回收率达到最优；通过优化磨矿参数、匹配浮选参数及强化过程管控，可实现磨矿-浮选工艺协同优化，提升资源回收效率，降低生产成本。

未来，可结合矿石嵌布特性，开展多因素正交试验，研究磨矿细度与其他工艺参数的协同作用机制；引入助磨剂，改善磨矿效率，减少过磨现象，进一步优化磨矿-浮选工艺。同时，可将数字孪生技术应用于磨矿-浮选系统，实现工艺参数的实时自适应调整，推动选矿工艺向精细化、高效化、节能化方向发展，为低品位矿产资源的高效利用提供技术支撑。

参考文献

[1]陈宏超.不同磨矿方式对浮选尾矿回收的试验研究[J].包钢科技,2025,51(2):10-13