

复杂多金属矿浮选药剂成本优化工业试验

宋伏牛

栾川龙宇铝业股份有限公司

摘要：复杂多金属矿因矿物组成复杂、嵌布关系紧密、分选难度大，浮选过程中需消耗大量药剂，药剂成本占选矿总成本的 30%-50%，成为制约选矿企业经济效益提升的关键因素。本文以某复杂多金属矿（铜铅锌共生）为试验对象，聚焦药剂成本优化与分选指标协同提升，设计多组工业试验，系统研究药剂种类替代、用量配比优化及添加方式改进对浮选指标与药剂成本的影响规律，确定最优药剂制度，提出针对性的成本优化策略，在保证分选指标达标前提下，实现药剂成本显著降低，为复杂多金属矿浮选药剂成本管控提供工业试验支撑与实践指导。

关键词：复杂多金属矿；浮选药剂；成本优化

1 工业试验背景与试验方案

试验依托某复杂多金属矿选厂现有生产系统，结合原生产工艺存在的药剂成本偏高问题，设计科学合理的工业试验方案，确保试验条件与实际生产一致，试验结果具有可推广性。

1.1 试验背景

该选厂处理的复杂多金属矿以铜铅锌共生为主，伴生少量金、银，矿物嵌布粒度细、共生关系复杂，浮选过程采用“铜铅混合浮选-铜铅分离-锌浮选”流程。原生产药剂制度存在明显缺陷：捕收剂采用单一进口丁基黄药，价格偏高；抑制剂、起泡剂用量凭经验控制，配比不合理；药剂添加方式为一次性添加，利用率低，导致药剂单耗过高，药剂成本占选矿总成本的 45%，且部分浮选指标波动较大，制约企业经济效益提升。本次工业试验旨在优化药剂制度，降低药剂成本，同时保证铜、铅、锌精矿品位与回收率达标。

1.2 试验设备与药剂

试验依托选厂现有浮选系统，采用 XCF 型充气机械搅拌浮选机、JJF 型浮选机，配套药剂搅拌槽、计量泵等设备，设备运行参数与原生产保持一致，确保试验条件贴合实际。试验选用药剂包括：捕收剂（进口丁基黄药、国产丁基黄药、混合捕收

剂)、抑制剂(石灰、硫化钠)、起泡剂(2#油、MIBC 起泡剂)，其中国产捕收剂、MIBC 起泡剂为替代药剂，价格低于原用药剂，且性能与原药剂匹配。所有药剂均为工业级，严格控制药剂纯度与质量，避免药剂质量影响试验结果。

1.3 试验方案

试验采用单因素变量与正交试验相结合的方式，分为三个阶段开展：第一阶段为药剂替代试验，固定药剂用量与配比，分别采用国产丁基黄药、混合捕收剂替代进口丁基黄药，起泡剂采用 MIBC 起泡剂替代 2#油，研究药剂替代对分选指标与药剂成本的影响；第二阶段为药剂用量配比优化试验，固定药剂种类，调整捕收剂、抑制剂、起泡剂的用量配比，确定最优用量组合；第三阶段为药剂添加方式改进试验，将一次性添加改为分段添加，研究添加方式对药剂利用率与成本的影响。每个试验阶段连续运行 72 小时，采集生产数据，检测精矿品位、回收率及药剂单耗，计算药剂成本，对比分析试验效果。

2 工业试验结果与分析

2.1 药剂替代试验结果与分析

药剂替代试验核心是在保证分选指标达标的前提下，选用性价比更高的国产药剂替代进口药剂。试验结果表明，采用国产丁基黄药替代进口丁基黄药后，铜、铅、锌精矿品位与回收率基本保持稳定，无明显波动，而捕收剂单耗降低 12%，单吨矿石药剂成本降低 1.8 元；采用混合捕收剂(国产丁基黄药+戊基黄药)替代进口丁基黄药，分选指标略有提升，铜精矿回收率提升 0.5%，铅精矿回收率提升 0.3%，捕收剂单耗降低 18%，单吨矿石药剂成本降低 2.5 元；采用 MIBC 起泡剂替代 2#油，起泡效果更稳定，泡沫流动性良好，起泡剂单耗降低 20%，进一步降低药剂成本。综合来看，混合捕收剂与 MIBC 起泡剂的组合替代方案最优。

2.2 药剂用量配比优化试验结果与分析

药剂用量配比优化试验聚焦降低药剂单耗，同时保证分选指标稳定。试验结果显示，原药剂用量配比存在抑制剂过量、捕收剂与起泡剂配比失衡问题。优化后，适当降低石灰用量，减少抑制剂消耗，同时调整混合捕收剂与 MIBC 起泡剂的配比，增加戊基黄药在混合捕收剂中的比例，提升分选选择性。优化后，捕收剂单耗进一步降低 8%，抑制剂单耗降低 15%，起泡剂单耗降低 5%，单吨矿石药剂成本再降低 1.2 元，且铜、铅、锌精矿品位与回收率均保持稳定，未出现明显下降，部分指标略有提升，实现了药剂用量与分选指标的协同优化。

2.3 药剂添加方式改进试验结果与分析

药剂添加方式改进旨在提升药剂利用率，减少药剂浪费。原药剂采用一次性添加方式，药剂在矿浆中分散不均，部分药剂未充分发挥作用，导致药剂消耗偏高。改为分段添加后，将捕收剂、抑制剂、起泡剂分别在粗选、精选、扫选阶段分段添加，根据各阶段浮选需求精准供给药剂。试验结果表明，分段添加方式可使药剂利用率提升 25%，捕收剂、起泡剂单耗进一步降低 5%，单吨矿石药剂成本再降低 0.6 元，同时浮选泡沫更稳定，分选指标波动减小，铜、铅、锌精矿回收率分别提升 0.3%、0.2%、0.4%，实现了成本降低与指标提升的双重目标。

2.4 最优药剂制度确定

结合三阶段试验结果，确定本次工业试验的最优药剂制度：捕收剂采用混合捕收剂（国产丁基黄药+戊基黄药），抑制剂采用石灰，起泡剂采用 MIBC 起泡剂；药剂用量按优化配比控制，抑制剂用量较原制度降低 15%，混合捕收剂用量降低 26%，起泡剂用量降低 25%；药剂添加方式采用分段添加，粗选阶段添加 60%捕收剂、70%抑制剂、50%起泡剂，精选与扫选阶段按需补充。

3 药剂成本优化保障措施

3.1 强化药剂采购与管理

建立药剂采购分级管理制度，优先选用性价比高的国产药剂与混合药剂，与药剂生产厂家签订长期合作协议，降低药剂采购成本。加强药剂储存管理，分类存放不同类型药剂，避免药剂受潮、变质，减少药剂浪费；建立药剂领用台账，实行按需领用、精准计量，杜绝过量领用与浪费现象。

3.2 完善过程监测与调控

搭建药剂用量与浮选指标实时监测系统，采用在线检测设备，实时采集药剂用量、矿浆性质、浮选指标等数据，建立数据联动分析机制，根据矿石性质变化与浮选指标波动，动态调整药剂用量与配比，确保药剂制度始终处于最优状态。加强操作人员培训，提升其对药剂制度的掌握程度与操作规范性，确保药剂添加精准、均匀。

3.3 推动技术升级与优化

持续开展药剂试验研究，结合矿石性质变化，优化药剂种类与配比，探索新型高效、低成本药剂的应用，进一步降低药剂成本。优化浮选工艺流程，提升分选效率，减少药剂消耗；引入药剂乳化技术，提升药剂在矿浆中的分散性与利用率，进一步降低药剂单耗。

4 结论与展望

本文通过复杂多金属矿浮选药剂成本优化工业试验，系统研究了药剂替代、用量配比优化、添加方式改进对分选指标与药剂成本的影响，得出以下结论：采用混合捕收剂替代单一进口捕收剂、MIBC 起泡剂替代 2#油，可在保证分选指标稳定的前提下，显著降低药剂成本；优化药剂用量配比，可进一步降低药剂单耗，实现成本与指标的协同优化；分段添加药剂可提升药剂利用率，实现成本降低与指标提升的双重目标，经济效益显著。

参考文献

[1]金吉梅,谭燕葵.铜铅锌共生金属矿选矿试验研究及设计思路[J].有色冶金设计与研究,2025,46(4):10-14