

钼矿浮选尾矿有价金属综合回收及资源化利用研究

尤雷

栾川龙宇钼业有限公司

摘要：钼矿浮选过程中会产生大量尾矿，其堆存不仅占用土地资源、引发生态环境隐患，还因含有钼、钨、铜、铁等有价金属及石英、长石等非金属矿物，造成资源浪费。随着钼矿资源日益枯竭和“无废矿山”建设推进，浮选尾矿有价金属综合回收及资源化利用成为破解资源浪费与环境问题的关键路径。本文阐述钼矿浮选尾矿的来源、组分特征及堆存危害，系统分析有价金属综合回收技术路径，探讨尾矿资源化利用的主要方向，结合实践总结应用成效与现存问题，提出优化策略，为钼矿浮选尾矿高效回收与资源化利用提供理论支撑与实践参考。

关键词：钼矿浮选尾矿；有价金属；综合回收；资源化利用；无废矿山

1 钼矿浮选尾矿的组分特征及堆存危害

1.1 组分特征

钼矿浮选尾矿的组分受原矿性质、浮选工艺影响较大，整体呈现成分复杂、有价组分含量低但总量可观的特点。金属组分方面，尾矿中除残留微量钼外，还常伴生钨、铜、铁、硫等有价金属，部分尾矿还含有微量金、银等贵金属。

非金属组分方面，尾矿主要以石英、长石、云母等硅酸盐矿物为主，其中二氧化硅含量普遍在 40%以上，同时含有氧化铝、氧化铁等氧化物，这些组分是制备建筑材料的重要原料。此外，尾矿中还残留少量浮选药剂，以及砷、铅等重金属元素，处理不当易引发环境风险。

1.2 堆存危害

钼矿浮选尾矿长期堆存，会带来多重危害。一是占用土地资源，大量尾矿堆存需修建尾矿库，占用宝贵的耕地与林地，制约区域土地资源合理利用。二

是引发生态环境问题，尾矿中重金属元素易通过雨水淋溶渗入土壤和地下水，污染水体与土壤，影响周边植被生长和居民身体健康；尾矿扬尘还会污染大气环境，危害生态系统。

三是造成资源浪费，尾矿中蕴含的钼、钨、铜等有价金属，若不进行回收，将导致战略资源流失；其中的非金属矿物无法得到利用，也降低了资源综合效益。四是存在安全隐患，尾矿库长期堆存易引发坝体失稳、溃坝等安全事故，威胁周边人员与财产安全。

2 钼矿浮选尾矿有价金属综合回收技术

2.1 浮选回收技术

浮选回收是尾矿中有价金属回收的主流技术，主要用于回收尾矿中残留的钼、钨、铜等硫化矿或氧化矿。针对尾矿中钼的回收，多采用活化浮选工艺，通过添加活化剂激活尾矿中辉钼矿的可浮性，优化捕收剂与起泡剂配比，提升钼的回收效率，部分工艺可使钼回收率达到 55%以上。

针对伴生钨的回收，常采用加温浮选或常温浮选工艺，以油酸钠等为捕收剂，水玻璃等为抑制剂，实现白钨矿与脉石矿物的分离，部分试验可获得品位超过 22%、回收率达 53%以上的钨精矿。对于伴生铜的回收，采用优先浮选或混合浮选工艺，通过调整矿浆酸碱度，抑制脉石矿物，富集铜矿物，提升铜精矿品位与回收率。

2.2 磁选回收技术

磁选回收主要用于回收尾矿中伴生的磁性铁矿物，适用于含有磁铁矿、磁黄铁矿的钼矿浮选尾矿。通过调整磁场强度，采用多段磁选工艺，去除尾矿中的脉石矿物，富集铁矿物，可获得品位超过 59%的铁精矿。对于非磁性铁矿物，可通过磁化焙烧处理，将其转化为磁性矿物后再进行磁选回收，进一步提升铁的回收效率。

2.3 联合回收技术

由于钼矿浮选尾矿成分复杂，单一回收技术难以实现多种有价金属的高效回收，联合回收技术成为发展趋势。常见的联合工艺包括浮-磁联合、重-浮联合等，通过不同技术的协同作用，实现多种有价金属的综合回收。

4 钼矿浮选尾矿资源化利用路径

4.1 建筑材料制备

钼矿浮选尾矿中富含石英、长石等组分，与天然建筑材料成分相似，是制备建筑材料的优质原料。经过破碎、筛分、改性等处理后，尾矿可用于制备免烧砖、混凝土、水泥、微晶玻璃等建筑材料。利用尾矿制备免烧砖，可替代传统黏土砖，减少耕地占用；用于制备混凝土骨料，可降低天然骨料的消耗，同时降低建筑材料生产成本，实现尾矿规模化消纳。

4.2 矿山充填

将有价金属回收后的尾矿进行破碎、分级处理，作为矿山采空区充填材料，可实现尾矿就地消纳，减少尾矿堆存量。尾矿充填不仅能解决采空区塌陷隐患，还能减少充填材料的采购成本，实现“以废治废”。通过优化尾矿配比，可提升充填体强度，满足矿山充填工程要求，同时降低充填作业成本。

4.3 农业应用

钼矿浮选尾矿中含有的硅、钙、镁等元素，是植物生长所需的营养元素，经过无害化处理后，可作为土壤改良剂或肥料添加剂，用于改良酸性土壤、补充土壤养分。通过添加钝化剂，可固化尾矿中的重金属元素，降低环境风险，确保农业应用安全。尾矿土壤改良剂可提升土壤透气性与保肥能力，促进农作物生长，实现尾矿资源化与农业生态改善的协同发展。

5 应用成效、现存问题及优化策略

5.1 应用成效

目前，我国部分钼矿企业已开展浮选尾矿有价金属综合回收及资源化利用实践，取得显著成效。某钼矿采用浮-磁联合工艺，从浮选尾矿中回收钼、钨、铁等有价金属，钼回收率达 55.3%，钨回收率达 53.8%，铁精矿品位达 62.7%；回收后的尾矿用于制备免烧砖和矿山充填，尾矿综合利用率提升至 75%以上，年减少尾矿堆存近 100 万吨，既实现了资源回收，又降低了环境压力，提升了

企业经济效益与生态效益。

5.2 现存问题

尽管应用实践取得一定进展，但仍存在诸多问题。一是回收技术适配性不足，尾矿中有价金属品位低、嵌布粒度细，单一回收技术回收率偏低，联合工艺成本较高，难以大规模推广；二是药剂污染问题突出，回收过程中使用的捕收剂、抑制剂等易残留于尾矿中，影响后续资源化利用；三是资源化利用产品附加值偏低，多集中于低附加值建筑材料，高附加值利用路径较少；四是标准体系不完善，缺乏统一的尾矿回收与资源化利用质量标准，制约行业规范化发展。

5.3 优化策略

一是加强技术创新，研发低成本、高效能的联合回收技术，开发靶向捕收剂与无氟抑制剂，提升有价金属回收率，降低回收成本；二是强化尾矿无害化处理，优化药剂使用方案，减少药剂残留，确保后续资源化利用安全；三是拓展高附加值利用路径，加强尾矿在新型材料、环保材料等领域的应用研究，提升资源化利用效益；四是完善标准体系，制定统一的尾矿回收与资源化利用质量标准、检测标准，规范行业发展；五是加大政策扶持力度，鼓励企业开展尾矿综合回收与资源化利用项目，推动产业规模化、绿色化发展。

6 结论

钼矿浮选尾矿含有丰富的有价金属与非金属矿物，具有极高的回收利用价值，其综合回收与资源化利用是解决资源浪费、环境污染与安全隐患的有效途径，也是推动无废矿山建设与钼产业绿色可持续发展的必然要求。

浮选、磁选及联合回收技术是尾矿有价金属回收的核心路径，可实现钼、钨、铜、铁等多金属协同回收；建筑材料制备、矿山充填、农业应用是尾矿资源化利用的主要方向，可实现尾矿全量消纳。当前，尾矿综合回收与资源化利用仍存在技术、成本、标准等方面的问题，未来需通过技术创新、药剂优化、标准完善与政策扶持，提升回收效率与资源化利用水平，实现资源循环利用与生态环境保护的协同发展，为钼矿产业高质量发展提供支撑。

参考文献

- [1] 张文杰,张晶,谢峰,吕向文,徐安勋,梁溢强.铜尾矿中有价金属回收和资源化利用研究进展
[J].铜业工程,2025(6):110-120