

难选铅锌矿选矿新药剂应用实践

周小伟 梁 毅

紫金矿业集团股份有限公司 福建 龙岩 361000

摘 要：针对难选铅锌矿资源利用率低、选矿指标差的问题，研发并应用新型选矿药剂是关键技术途径。新型捕收剂包括螯合型、复合胺类及硫氮类，可提升矿物选择性捕收能力；高效抑制剂与活化剂通过协同作用强化目标矿物分离；调整剂与分散剂有效改善矿浆环境。在应用实践中，混合浮选工艺采用复合药剂体系优化实现铅锌高效回收，硫化铅锌矿通过低毒抑制剂替代与智能加药提升分选指标，氧化铅锌矿则借助螯合捕收剂与低温专用药剂突破难浮瓶颈，显著提高了资源利用率与经济效益，为复杂铅锌矿清洁高效开发提供技术支撑。

关键词：难选铅锌矿；新药剂；应用实践

引言：铅锌矿作为重要的金属矿产资源，在工业领域应用广泛。随着易选高品位矿石逐渐枯竭，低品位、细粒嵌布、共伴生复杂的难选铅锌矿已成为开发主力。传统选矿药剂存在选择性差、用量大、环保压力大等问题，导致资源利用率不足、生产成本低。因此，研发和应用新型高效选矿药剂，优化选矿工艺，对于提高难选铅锌矿选矿指标、降低成本、实现资源高效利用具有重要意义。通过创新药剂类型与应用实践，可有效破解难选铅锌矿分选难题，推动矿业行业绿色可持续发展。

1 应用新型选矿药剂的必要性

在当今矿业生产中，应用新型选矿药剂是提升效率、降低成本、实现资源高效利用的关键举措。随着易选矿石资源逐渐枯竭，难选矿石占比持续上升，其矿物组成复杂、嵌布粒度细、有用矿物与脉石性质相近等特点，使传统药剂面临回收率低、成本高、污染严重等瓶颈。新型选矿药剂通过分子设计与性能优化，展现出更高的选择性和捕收能力，可在复杂矿浆环境中精准识别并吸附有用矿物，显著提升选矿效率与资源回收率。同时，其化学稳定性更强，能在宽温度、酸碱度范围内保持活性，减少因药剂失效导致的工艺波动和资源浪费^[1]。经济效益层面，新型药剂通过降低单位矿石药剂消耗量和能耗，减少尾矿排放量，直接降低选矿成本；资源回收率的提升则意味着从低品位矿石中提取更多有用矿物，显著增加企业经济效益。环保价值方面，新型药剂着力解决传统药剂的污染问题，通过开发低毒、易降解的绿色分子结构，减少重金属离子、有毒有机物等有害副产品的产生，降低对水体、土壤的生态影响，为矿业可持续发展提供关键技术支撑。

2 难选铅锌矿选矿新药剂类型

2.1 新型捕收剂

2.1.1 螯合型捕收剂

螯合型捕收剂通过分子结构中的多齿配位基团（如氧、硫、氮原子）与矿物表面金属离子形成稳定螯合物，具有强选择性和高捕收能力，尤其适用于氧化铅锌矿中难浮矿物的回收。例如，CF螯合剂对菱锌矿和白铅矿的选择捕收性能显著，在自然矿浆条件下可有效分离含钙脉石矿物，解决传统胺类捕收剂对方解石、白云石捕收能力强的问题，锌精矿回收率提升8%以上。水杨醛肟类螯合剂则通过活化异极矿表面，增强其与捕收剂的结合能力，在云南会泽铅锌矿试验中，采用水杨醛肟-胺浮选法可获得锌精矿品位37.07%、回收率73.92%的指标，为细粒难选氧化矿提供了高效解决方案。

2.1.2 复合胺类捕收剂

复合胺类捕收剂通过脂肪胺与醚胺、醇胺等组分复配，优化了传统单一胺类药剂选择性差、泡沫黏稠的缺陷，适用于高氧化率、高含泥矿石的浮选。新型捕收剂KZ是典型代表，其对异极矿、水锌矿等难浮氧化锌矿物的捕收能力远强于十八胺，尤其对细粒微细粒矿物具有选择性絮凝浮选作用。在兰坪金顶砂岩型氧化铅锌矿闭路试验中，KZ捕收剂使氧化锌精矿回收率较十八胺提高6.59%，总铅精矿回收率达44.57%，同时解决了不脱泥浮选泥恶性循环的问题，实现了药剂用量与浮选稳定性的平衡。

2.1.3 硫氮类与巯基化合物捕收剂

硫氮类捕收剂（如BK906、乙硫氮）和巯基化合物（如十五烷基硫醇、环己烷黑药）通过硫原子与硫化矿物表面的强亲和力，提升硫化铅锌矿的捕收效率，同时降低对脉石矿物的吸附。BK906在陕西某混合铅锌矿分选中替代传统丁黄药，铅精矿品位提高5.15个百分点，回收率提升4.17%，且减少石灰用量30%，缓解高碱环境对后

续锌浮选的抑制。巯基化合物则对氧化矿表面具有特殊活化作用，如十五烷基硫醇对菱锌矿的捕收能力较脂肪酸类药剂提高20%，在低品位氧化矿浮选中实现药剂单耗降低与回收率提升的双重效益。

2.2 高效抑制剂与活化剂

高效抑制剂通过选择性吸附或化学反应改变矿物表面性质，实现目标矿物与干扰组分的分离。新型有机抑制剂BH-2与腐殖酸钠组合，在广西某低品位铅锌尾矿浮选中，通过络合与静电斥力协同作用抑制锌硫矿物，铅精矿含锑达40.23%，回收率提升至74.09%，解决了传统氰化物毒性大、抑制效果不稳定的问题。硅酸盐矿物抑制剂草酸与乳酸复配体系，通过羟基与羧基的协同吸

附，有效抑制稀土矿伴生的石英、长石，在独居石-锆英石分选中，稀土精矿纯度提高12%，药剂用量较水玻璃降低50%。活化剂通过改善矿物表面疏水性或促进捕收剂吸附，强化难浮矿物的可浮性。新型活化剂H-18在氧化铅锌矿浮选中，通过多齿络合作用促进菱锌矿、白铅矿表面形成稳定硫化膜，实现全泥浮选，锌回收率较传统硫化钠提高10%，且在中性矿浆中即可发挥作用，减少硫化钠用量60%^[2]。硫酸铜与乙二胺复合活化剂则针对闪锌矿表面氧化问题，通过铜离子活化与胺基配位协同，在云南某高硫铅锌矿中使锌精矿回收率提升至81.16%，同时降低对黄铁矿的活化副作用，硫含量控制在1.5%以下。铅锌矿药剂试验如表1。

表1 铅锌矿药剂试验

药剂类型及名称	作用原理	试验对象	试验结果	其他优势
新型有机抑制剂BH-2与腐殖酸钠组合	络合与静电斥力协同作用	广西某低品位铅锌尾矿	铅精矿含锑量达40.23%，回收率提升至74.09%	解决传统氰化物毒性大、抑制效果不稳定的问题
硅酸盐矿物抑制剂草酸与乳酸复配体系	羟基与羧基协同吸附	稀土矿伴生的石英、长石	稀土精矿纯度提高12%，药剂用量较水玻璃降低50%	-
新型活化剂H-18	多齿络合作用促进表面形成稳定硫化膜	氧化铅锌矿	锌回收率较传统硫化钠提高10%	在中性矿浆中即可发挥作用，减少硫化钠用量60%
硫酸铜与乙二胺复合活化剂	铜离子活化与胺基配位协同	云南某高硫铅锌矿中闪锌矿	锌精矿回收率提升至81.16%，硫含量控制在1.5%以下	降低对黄铁矿的活化副作用

2.3 调整剂与分散剂

在难选铅锌矿选矿中，调整剂与分散剂通过调控矿浆环境、改善矿物表面性质和优化颗粒分散状态，显著提升选矿效率。pH调整剂如碳酸钠与碳酸氢钠复配体系，将矿浆pH稳定在8-9，减少Ca²⁺对铅矿的抑制，铅精矿回收率提升3.2%，降低对锌浮选的干扰。矿泥分散剂中六偏磷酸钠与聚丙烯酰胺复合药剂，使-10μm矿泥分散度提高40%，避免细泥包裹粗粒矿物，锌精矿品位达38.5%，药剂用量较单一水玻璃降低25%。凝聚剂如改性淀粉类药剂，使尾矿脱水效率提升50%，底流浓度从20%提高至45%，减少水循环系统药剂残留，降低后续浮选药剂消耗15%。介质调整剂氟硅酸钠通过离子交换改善矿物表面电学性质，在萤石-方解石分选中选择性络合Ca²⁺，使精矿品位从90%提升至97%，且环境友好。起泡调整剂醚醇类复合药剂产生均匀小气泡，气泡-颗粒附着效率提高20%，粗选铅回收率提升5%，避免传统松醇油泡沫发黏导致的精矿夹带问题。这些药剂协同作用，为复杂铅锌矿高效分选提供关键技术支撑。

3 新药剂在难选铅锌矿选矿中的应用实践

3.1 混合浮选工艺应用

3.1.1 铅锌混合粗选新药剂体系优化

针对高硫铅锌矿，采用“丁基黄药+乙硫氮”复合捕收剂（配比1：1）替代单一黄药，配合SD强抑制剂抑制铁矿物，实现铅锌矿物快速上浮。在磨矿细度-200目占75%条件下，混合粗选铅回收率达92.3%，锌回收率88.7%，较传统工艺减少金属循环量30%，浮选机容积利用率提升25%，年处理能力增加15%，有效解决了高硫铅锌矿分选效率低、设备利用率不足的问题，显著提升了选矿综合效益。

3.1.2 低碱介质下碳铅混浮药剂创新

某含碳铅锌矿采用“硫化钠+煤油”组合药剂，在pH = 8-9低碱环境中实现碳铅同步捕收，再通过“石灰+硫酸锌”混合抑制剂分离碳铅。闭路试验铅精矿品位提升至52.1%，含碳量降至0.8%，碳质矿物对药剂的吸附损耗降低40%，药剂单耗从3.2kg/t降至2.1kg/t，年节省药剂成本860万元。

3.1.3 异步混合浮选药剂动态调控

高品位铅锌矿应用异步混合浮选工艺，通过“BK906捕收剂+亚硫酸钠抑制剂”分段加药：先浮易浮铅矿物，再活化难浮锌矿物。铅金属富集比达1.6倍，回收率98.5%，锌精矿品位48.3%，较常规混合浮选减少中矿循环量45%，浮选时间缩短20%，实现“能收早收、能丢早

丢”的高效分选目标。

3.2 硫化铅锌矿新药剂应用实践

硫化铅锌矿作为常见的难选矿石类型,其选矿过程中新药剂的应用实践取得了显著成效,为提升选矿指标和经济效益提供了有力支撑。(1)复合捕收剂提升铅锌选择性分离。采用“丁基黄药+25号黑药”组合(配比3:1),利用黑药对铅矿物的强选择性与黄药对锌矿物的捕收协同性,铅精矿品位提高5.3个百分点,锌回收率提升4.8%,解决传统单一药剂分选效率低的问题。(2)无毒抑制剂替代氰化物体系。以“亚硫酸氢钠+硫酸锌”联合抑制剂(用量比2:1)抑制闪锌矿,通过 HSO_3^- 吸附与 Zn^{2+} 络合双重作用,铅锌分离效果优于氰化物,废水中 CN^- 浓度从0.5mg/L降至检测限以下,环保成本降低40%。

(3)低温高效起泡剂优化浮选环境。新型醚类起泡剂在10-15℃低温矿浆中仍保持稳定泡沫性能,气泡寿命延长30%,避免传统松醇油低温失效问题,硫化铅锌矿浮选回收率提升3.2%,药剂用量减少25%。(4)pH调整剂协同改善矿物表面性质。碳酸钠与氢氧化钠按4:1复配调节矿浆pH至10-11,减少石灰高钙环境对方铅矿的抑制,铅精矿含锌量降至1.8%,同时增强闪锌矿表面疏水性,锌扫选回收率提高6.5%。(5)智能分段加药系统提升药剂利用率。根据矿浆流量与品位在线检测数据,捕收剂分粗选(60%)、精选(30%)、扫选(10%)动态添加,抑制剂随pH值实时调整,药剂有效利用效率提升30%,单耗降低18%。

3.3 氧化铅锌矿新药剂应用实践

在氧化铅锌矿选矿领域,新药剂的应用实践展现了显著成效。面对氧化铅锌矿矿物表面性质复杂、传统药剂浮选效果不佳的难题,研发团队引入了新型高效捕收剂。该捕收剂专为氧化矿物设计,其分子结构能精准识别并吸附氧化铅锌矿物表面的特定化学基团,极大地增

强了对这些矿物的捕收能力。在某氧化铅锌矿的工业试验中,采用这种新捕收剂后,铅的回收率从原来的65%提升至75%,锌的回收率从58%提高到68%,精矿品位也相应提高,实现了资源的高效回收同时,为解决矿浆中细粒矿物易团聚、浮选效率低的问题,配合使用了新型分散剂。这种分散剂能在矿浆中形成稳定的分散环境,使细粒矿物保持良好的悬浮状态,避免了颗粒团聚,从而提高了矿物与药剂的接触效率^[3]。在实际应用中,新型分散剂的使用不仅提高了浮选效率,还降低了药剂的总用量,进一步降低了选矿成本。这些新药剂的综合应用,为氧化铅锌矿的选矿提供了更加高效、经济的解决方案,推动了难选矿石选矿技术的进步。

结语

未来需深化药剂作用机理研究,通过分子模拟与表面分析技术,揭示新型药剂与矿物界面的相互作用机制,为高效药剂分子设计提供理论依据。同时,推动智能化药剂调控系统开发,结合矿石性质在线检测与大数据算法,实现药剂种类、用量的动态优化,提升浮选过程精准性。加强绿色工艺融合,研发可生物降解药剂与低能耗分选技术,降低选矿过程的环境负荷。需强化多学科交叉创新,促进材料科学、环境工程与矿物加工技术的深度结合,为复杂难选铅锌矿资源的高效、清洁开发提供持续技术支撑,助力矿业行业绿色可持续发展。

参考文献

- [1]赵家林,刘进,张红英.云南某难选铅锌矿选矿新工艺试验研究[J].有色金属(选矿部分),2023(5):81-86+112.
- [2]陈如凤,傅佳丽,韩梦婷,毕康颖,缪建成.新型高浓度高效铅锌选矿工艺的研究与应用[J].现代矿业,2023,39(12):142-145.
- [3]敖顺福.铅锌矿选矿工艺、药剂及设备研究进展[J].矿产保护与利用,2023,43(5):146-162.