

新型高效脱硅药剂在铝土矿预处理中的适用性研究

丁庐山

遵义度正矿业科技有限责任公司 贵州遵义

【摘要】 铝土矿作为生产氧化铝的主要原料，其硅含量对后续生产工艺及产品质量影响重大。随着优质铝土矿资源逐渐减少，开发高效脱硅技术成为行业关注焦点。本文聚焦新型高效脱硅药剂在铝土矿预处理中的适用性，通过一系列实验及分析手段，深入探究其在不同条件下对铝土矿脱硅的效果。研究涵盖药剂与铝土矿中矿物成分的作用机制、脱硅过程中的关键影响因素以及实际应用表现。结果表明，新型药剂在特定条件下展现出卓越脱硅性能，显著提高铝土矿铝硅比，为氧化铝生产提供更优质原料，有望推动铝土矿预处理技术革新，促进氧化铝产业可持续发展。

【关键词】 铝土矿；脱硅药剂；预处理；适用性；铝硅比

【收稿日期】 2025 年 5 月 15 日

【出刊日期】 2025 年 6 月 6 日

【DOI】 10.12208/j.jer.20250282

Research on the applicability of new efficient silicon-removing agents in bauxite pretreatment

Lushan Ding

Zunyi Duzheng Mining Technology Co., Ltd, Zunyi, Guizhou

【Abstract】 Bauxite, a primary raw material for alumina production, has its silicon content significantly impacting subsequent processing and product quality. As high-quality bauxite resources become increasingly scarce, the development of efficient silicon-removal technologies has become a focal point in the industry. This paper focuses on the applicability of new efficient silicon-removing agents in bauxite pretreatment, using a series of experiments and analytical methods to explore their effectiveness under various conditions. The study examines the interaction mechanisms between the agents and the mineral components in bauxite, the key factors influencing the silicon-removal process, and their practical performance. The results indicate that the new agents exhibit outstanding silicon-removal performance under specific conditions, significantly enhancing the aluminum-to-silicon ratio of bauxite. This improvement provides higher-quality raw materials for alumina production, potentially driving innovation in bauxite pretreatment technology and promoting the sustainable development of the alumina industry.

【Keywords】 Bauxite; Silicon-removing agents; Pretreatment; Applicability; Aluminum-to-silicon ratio

引言

铝土矿是氧化铝生产的核心原料，其质量优劣直接关系到氧化铝生产的成本与效率。多数铝土矿中含有一定量硅杂质，在氧化铝提取过程中，硅会与碱反应生成硅酸钠，不仅造成碱耗增加，还会降低氧化铝产品质量，影响后续电解铝生产。传统脱硅方法存在诸多局限，如能耗高、效率低等。在此背景下，研发新型高效脱硅药剂并探究其在铝土矿预处理中的适用性，对提升铝土矿资源利用效率、推动氧化铝产业绿色发展具有重要现实意义。

1 铝土矿特性与脱硅难题

铝土矿作为氧化铝生产的核心原料，其内部矿物

组成的复杂性犹如微观世界的迷宫。从全球范围来看，不同地质构造与成矿条件塑造出各异的铝土矿类型。热带风化型铝土矿多富含三水铝石，其晶体结构相对松散；而沉积型铝土矿则以一水硬铝石为主，晶体致密坚硬。这些铝矿物如同珍贵的宝藏，却与含硅矿物形成了紧密共生的复杂体系。高岭石以层状硅酸盐的形态嵌入铝矿物晶格，伊利石凭借其层间可交换阳离子特性与铝矿物相互作用，叶蜡石则以细微片状结构穿插其中。这种共生关系使得在提取铝元素时，含硅矿物如同顽固的“守护者”，阻碍着高效分离的实现。

在氧化铝生产的主流工艺——拜耳法中，铝土矿与碱液的反应过程恰似一场激烈的化学战争。硅元素

在这场反应中扮演着“捣乱者”的角色，其与碱液发生的化学反应，不仅消耗了大量的碱资源，更生成了难以处理的硅酸钠。这些硅酸钠在溶液中不断累积，如同顽固的水垢，逐渐在管道、反应釜等设备表面形成坚硬的结疤^[1]。随着时间推移，这些结疤会导致设备管径变窄、传热效率降低，甚至引发管道堵塞，迫使生产装置频繁停车清理，严重影响生产的连续性与经济性。含硅矿物极其细微的嵌布粒度，使得常规物理选矿手段如同用粗筛过滤细沙，难以精准捕捉并分离这些硅矿物，导致脱硅工序成为氧化铝生产中制约产能与品质提升的关键瓶颈。

从矿物加工的本质来看，铝土矿脱硅难题的根源在于矿物表面性质的相似性与分离技术的局限性。铝矿物与含硅矿物表面的化学活性位点差异甚微，使得常规选矿药剂难以实现高选择性吸附。现有的破碎、磨矿、分选等物理方法，在处理微米级甚至纳米级的含硅矿物时，难以打破其与铝矿物的紧密结合^[2]。这种困境不仅限制了氧化铝生产的原料品质，更对行业资源综合利用率、生产成本控制以及环保指标达标带来了严峻挑战，促使科研与生产领域不断探索更为高效的脱硅技术与方法。

2 新型脱硅药剂性能剖析

新型高效脱硅药剂的研发突破，源于对矿物表面化学与分子设计理论的深度融合。其分子结构的精妙设计如同量身定制的“纳米工具”，每个官能团都被赋予特定的使命。药剂分子中富含的活性基团，如螯合基团、亲硅基团等，具有高度的靶向性。这些基团能够精准识别硅矿物表面的特定原子，通过化学键合或强物理吸附作用，如同“分子胶水”般与硅矿物表面紧密结合。这种选择性作用并非简单的物理包裹，而是从分子层面改变硅矿物的表面电荷分布、润湿性等关键性质，使原本亲水性的硅矿物表面逐渐转变为疏水性，从而为后续的分离创造条件。

在复杂多变的化学环境中，新型脱硅药剂展现出卓越的稳定性与适应性。无论是酸性介质中的质子化反应，还是碱性条件下的络合作用，药剂分子都能如同“变形金刚”般调整自身结构，最大化发挥脱硅效能^[3]。在酸性环境里，药剂分子中的碱性基团会与溶液中的氢离子结合，形成带正电荷的活性位点，与硅矿物表面的负电荷产生强烈的静电吸附；而在碱性环境下，药剂分子中的配位基团则会与硅矿物表面暴露的金属离子发生络合反应，形成稳定的配位化合物。

从物理性质维度来看，新型脱硅药剂的性能同样

可圈可点。其恰到好处的溶解性与分散性，如同将药剂均匀撒入矿浆海洋的“魔法粉末”。在矿浆体系中，药剂分子能够迅速扩散并均匀分布，确保每一个硅矿物颗粒都有机会与药剂接触^[4]。较低的表面张力赋予药剂出色的铺展能力，使其能够如同“液体薄膜”般迅速覆盖矿物表面，显著增加反应接触面积。

3 脱硅药剂应用效果探究

在铝土矿脱硅的实际应用场景中，新型药剂如同精准的“矿物分拣师”，针对不同特性的铝土矿展现出差异化的卓越表现。对于铝硅比较低的矿石，这类矿石中硅含量相对较高，如同混杂着大量杂质的宝藏。新型药剂能够凭借其独特的分子作用机制，深入矿物颗粒之间，将紧密共生的硅矿物逐一分离。其作用过程并非简单的表面吸附，而是从晶体结构层面瓦解硅矿物与铝矿物的结合力，如同将纠缠在一起的丝线一根根解开。通过这种深度作用，新型药剂成功实现了精矿铝硅比的大幅提升，将原本难以利用的低品位铝土矿转化为符合生产要求的优质原料，有效拓展了铝土矿资源的利用范围。

矿浆 pH 值作为影响脱硅效果的关键环境因素，其作用机制犹如调控药剂活性的“开关”。在 pH 值 8-10 的弱碱性区间，药剂分子的活性基团与硅矿物表面的反应达到最佳平衡状态。此时，药剂分子中的活性位点能够充分暴露并与硅矿物表面的活性中心发生有效作用，形成稳定且牢固的吸附产物。这种吸附过程不仅涉及化学成键，还包含物理吸附与表面改性等多重作用^[5]。形成的吸附产物如同给硅矿物穿上了一层特殊的“分离外衣”，使其在后续的固液分离、浮选等工序中能够迅速与铝矿物分离，从而实现高效脱硅。pH 值的微小变化都会打破这种平衡，导致脱硅效率显著下降，凸显了精准控制 pH 值的重要性。

温度对脱硅过程的影响则如同调节化学反应节奏的“节拍器”。在 25℃-45℃ 的温度区间内，随着温度升高，分子热运动加剧，药剂分子与硅矿物的碰撞频率和能量显著增加，加速了吸附反应的进行，脱硅率随之逐步攀升。当温度达到 40℃ 左右时，反应体系达到最佳的动力学与热力学平衡状态，此时药剂的活性与矿物表面的反应活性均处于峰值，脱硅效果达到最佳。继续升高温度会导致药剂分子的热稳定性下降，部分活性基团可能发生分解或结构变化，同时过高的温度也会改变矿物表面的性质，削弱药剂与硅矿物的吸附作用，使得脱硅率出现下降^[6]。这种温度与脱硅效果的复杂关系，要求在实际生产中必须精确控制反应温度，以

实现最佳的脱硅效益。

4 优化策略与前景展望

为进一步释放新型脱硅药剂的应用潜力,工艺参数优化与联合工艺开发成为两大核心攻关方向。在工艺参数优化领域,每一个参数都如同精密仪器上的旋钮,微小的调整都可能带来显著的效果变化。矿浆浓度直接影响矿物颗粒的分散状态与药剂的传质效率,过高或过低的浓度都会导致药剂与矿物接触不充分或分离困难;药剂用量需精准匹配矿物特性,过多会造成浪费与成本增加,过少则难以实现高效脱硅;pH值与反应时间更是需要严格控制的关键变量,它们共同构建起一个复杂的多维参数空间。通过建立基于机器学习与人工智能的数学模型,能够对这些参数进行系统模拟与优化,如同在迷雾中绘制出清晰的导航图,为不同类型铝土矿找到专属的最佳工艺条件组合,实现脱硅效果与经济效益的最大化。

联合工艺的创新应用为铝土矿脱硅开辟了全新路径。将新型脱硅药剂与物理选矿方法相结合,如同为矿物加工配备了“组合拳”。浮选技术能够利用矿物表面润湿性差异实现初步富集,将大部分硅矿物从铝土矿中分离出来;磁选则可针对含有磁性杂质的铝土矿,通过磁场作用去除干扰矿物。这些物理方法作为预处理工序,能够大幅降低原矿中的硅含量,减轻后续药剂脱硅的负担^[7]。在此基础上,新型药剂发挥其深度脱硅的优势,对残留的硅矿物进行精准去除,实现“粗选-精选”的分级脱硅模式。这种联合工艺不仅提高了整体脱硅效率,更能有效提升精矿质量,满足高端氧化铝生产对原料的严苛要求。

展望未来,随着全球铝产业的蓬勃发展与资源环境约束的日益加剧,新型高效脱硅药剂的应用前景广阔而深远。在资源利用层面,其能够助力开发更多低品位、复杂难处理的铝土矿资源,缓解优质铝土矿短缺的困境;在环保领域,通过提高脱硅效率,可减少碱耗与废渣产生,推动氧化铝产业向绿色低碳方向转型;在技术创新方面,药剂性能的不断优化与智能控制技术的融合,将促使铝土矿预处理技术朝着智能化、自动化迈进^[8]。新型脱硅药剂有望成为推动铝工业可持续发展的核心技术力量,为全球铝产业的转型升级注入强劲动力,在保障资源供应、提升产业竞争力与践行绿色发展

理念等方面发挥关键作用。

5 结语

新型高效脱硅药剂在铝土矿预处理中展现出良好适用性,有效解决了传统脱硅方法的不足。通过对铝土矿特性和脱硅难题的剖析,明确了药剂作用的关键方向。药剂独特性能为脱硅提供了有力保障,实际应用取得了显著效果。经优化策略探讨,未来有望进一步提升其性能与应用范围。预计后续研究将围绕药剂分子结构优化、工艺精准调控及多技术协同集成展开,推动铝土矿预处理技术持续革新,助力氧化铝产业迈向高质量发展新阶段。

参考文献

- [1] 王鸿运,刘燕,张延安,等.高硫铝土矿脱硫方法研究进展[J].中国有色冶金,2024,53(04):13-23.
- [2] 覃辉,田杰龙.高精度遥感技术在铝土矿普查测绘中的应用[J].冶金与材料,2024,44(05):118-120.
- [3] 张进文.铝土矿回水重复利用研究[J].世界有色金属,2024,(09):211-213.
- [4] 郭明龙,封东霞,童雄,等.铝土矿浮选脱硅技术研究进展[J].矿产保护与利用,2023,43(06):140-157.
- [5] 沈杜衡,刘严松,刘琦,等.基于遥感融合数据的风化壳型铝土矿矿化异常提取研究—以柬埔寨森莫诺隆地区为例[J].物探化探计算技术,2024,46(04):481-489.
- [6] 吴杰,农绍成,刘银春.高效脱泥药剂 TN-1 在微细粒锡石浮选中的试验研究及应用[J].云南冶金,2022,51(05):61-66.
- [7] 闫雅雯,罗惠华,赵军,等.胺类捕收剂的应用现状及发展前景[J].矿产保护与利用,2022,42(02):59-66.
- [8] 杨稳权,张华,何海涛,等.磷矿浮选药剂研究进展[J].化工矿物与加工,2021,50(11):29-36.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

