

# 玻璃用石英砂磁选除铁技术及工艺参数分析

任俊杰

四川南联环资科技股份有限公司, 四川 江油 621700

DOI:10.61369/ME.2026060022

**摘 要 :** 玻璃产品的透光率、色泽及气泡度等理化指标与原料石英砂中铁杂质含量密切相关。相比酸洗、浮选等除杂方式,磁选法具有工艺流程简单、运行成本低、无二次污染等优势,已成为玻璃用石英砂除铁提纯的常用技术手段之一。本文从磁选除铁的基本原理出发,围绕磁场强度、给矿粒度、给矿浓度及磁介质结构等关键工艺参数对除铁效果的影响进行分析,并结合某企业的实际生产参数,提出设备选型与运行维护的注意事项。实践表明,通过上述参数的协同控制,可将石英砂中三氧化二铁含量由最大0.20%降至0.08%以下,满足了玻璃原料的除铁要求,可为同类企业优化石英砂提纯工艺提供参考。

**关 键 词 :** 石英砂; 磁选; 除铁; 玻璃原料; 工艺参数

## Analysis on Magnetic Separation Iron Removal Technology and Process Parameters of Quartz Sand for Glass Production

Ren Junjie

Sichuan Nanlian Huanzi Technology Co., Ltd., Jiangyou, Sichuan 621700

**Abstract :** The physical and chemical indicators such as transmittance, color, and bubble density of glass products are closely related to the iron impurity content in the raw material quartz sand. Compared with acid washing, flotation and other impurity removal methods, magnetic separation method has the advantages of simple process flow, low operating cost, and no secondary pollution, and has become one of the commonly used technical means for iron removal and purification of quartz sand for glass. Starting from the basic principle of magnetic separation for iron removal, this article analyzes the influence of key process parameters such as magnetic field strength, feed particle size, feed concentration, and magnetic medium structure on the iron removal effect. Combined with the actual production parameters of a certain enterprise, precautions for equipment selection and operation maintenance are proposed. Practice has shown that through the coordinated control of the above parameters, the content of ferric oxide in quartz sand can be reduced from a maximum of 0.20% to below 0.08%, meeting the requirements for iron removal in glass raw materials. This can provide reference for similar enterprises to optimize quartz sand purification processes.

**Keywords :** quartz sand; magnetic separation; iron removal; glass raw material; process parameters

## 引言

玻璃制品的透光率、颜色均匀性及气泡度等关键理化指标,很大程度上取决于原料石英砂的纯度,其中铁杂质含量的影响尤为突出。石英砂中的铁杂质主要以两种形式存在:一是与石英颗粒共生或包裹在颗粒内部的含铁矿物,如赤铁矿、褐铁矿、黑云母等;二是附着在颗粒表面的磁铁矿微粒和金属磨损屑。前者难以通过单一手段彻底脱除,后者则相对容易通过表面处理去除。铁杂质含量过高,会使玻璃产品呈现绿色或黄绿色色调,透光率下降,同时增加熔制过程中气泡的产生几率,直接影响产品等级和市场竞争力。近年来,随着平板玻璃、光伏玻璃等下游产品对原料品质要求的不断提高,石英砂生产企业普遍面临除铁提纯工艺升级的现实压力。

目前石英砂除铁提纯的主要技术路线包括酸洗法、浮选法和磁选法。酸洗法除铁效果较为彻底,但存在废酸处理难度大、设备腐蚀严重、生产成本较高等问题<sup>[1]</sup>;浮选法对药剂选择和操作条件要求较高,工艺控制相对复杂,且药剂残留可能对下游玻璃熔制带来额外影响<sup>[2]</sup>。相比之下,磁选法凭借工艺流程简单、无需添加化学药剂、运行成本低、不产生二次污染等优势,逐渐成为石英砂粗选和精选阶段应用较广的除铁手段。本文结合生产实践,围绕磁选除铁的技术原理及关键工艺参数展开分析,为玻璃用石英砂提纯工艺的优化提供参考。

## 一、磁选除铁的技术原理

石英砂中常见的含铁矿物多属弱磁性或顺磁性矿物，其磁化率远低于典型的强磁性矿物，常规低强度磁选设备难以实现有效分离，因此玻璃用石英砂除铁普遍采用高梯度强磁选设备。

高梯度磁选的基本原理是利用磁场梯度在磁介质周围产生的局部高强磁场，对物料中的弱磁性矿物颗粒产生足够的磁力，使其被介质捕获并与非磁性的石英颗粒分离。生产中常用的设备类型包括湿式高梯度磁选机、干式对辊强磁选机<sup>[3]</sup>以及立环脉动高梯度磁选机<sup>[4]</sup>等。其中湿式设备适用于中细粒级物料的精选，除铁效果较好，但需配套脱水及废水处理工序，投资和占地相对较大；干式设备省去了脱水环节，工艺流程更为紧凑，更适合对水资源和场地条件有限的企业，但在处理细粒级、含水量偏高的物料时分选效率会有所下降。立环脉动高梯度磁选机通过介质的周期性脉动改善了矿浆的松散效果，对细粒弱磁性矿物具有较好的捕获能力，近年来在非金属矿提纯领域应用逐渐增多。不同类型设备在磁场强度、介质结构、处理能力等方面各有特点，企业应结合原料粒度组成、目标除铁率及现场条件综合选择，避免盲目追求设备的先进性而忽视与自身原料特性的匹配。

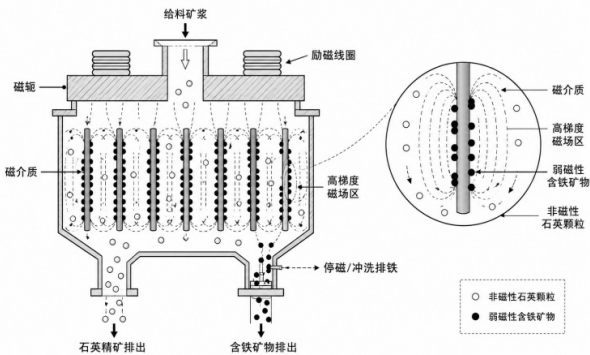


图1 高梯度磁选除铁原理示意图

## 二、影响磁选效果的关键工艺参数

磁选除铁效果并非仅由设备类型决定，工艺参数的合理设定同样关键，需要在生产中不断摸索调整。

（1）磁场强度。磁场强度决定弱磁性矿物能否被有效捕获。强度不足则细粒铁矿物难以捕获，除铁率偏低；强度过高则易夹杂非磁性颗粒，造成精矿损失、能耗上升。应结合原料磁化率特性，通过分级试验确定适宜区间，而非一味追求高场强。以某企业为例，原矿破碎工序多选用4000GS铁氧体永磁除铁器或5000GS电磁除铁器，半成品除铁则一级选用8000-10000GS强磁板式永磁除铁器，二级选用不低于10000GS的立环脉动高梯度强磁磁选机。

（2）给矿粒度。粒度过粗，铁矿物解离不充分，难以从石英颗粒中分离；粒度过细，则介质易堵塞、磨矿能耗上升。需结合原料嵌布特性，通过筛分试验确定合理粒度范围<sup>[5]</sup>。各工序除

铁给矿粒度参考参数，粗碎给矿粒度不大于15cm，细碎不大于5cm；磨矿给矿粒度控制在20目（1.0mm）以下，200目以下微细粉占比不超过5%。

（3）给矿浓度。浓度过高，矿浆黏度增大、颗粒相互干扰加剧，捕获效率下降；浓度过低，则处理量降低、废水处理压力增加，需通过现场取样与小型试验确定适宜区间，各工序给矿浓度参考参数。破碎工序给矿厚度控制在50mm以内；磨矿工序中，板式除铁器给矿浓度为20%-25%，立环磁选机为15%-25%。

（4）磁介质结构。磁介质结构越细密，磁场梯度越大、捕获能力越强，但堵塞风险和维护工作量也随之上升，应结合原料粒度与处理量选择介质规格并建立定期冲洗制度。玻璃用石英砂弱磁性杂质脱除多选用0.2-0.8mm不锈钢毛，背景场强可达12000GS以上。

（5）分选级数。单级磁选往往难以达标，生产中多采用两级或多级串联，但级数增加意味着设备投资与能耗上升，应结合质量要求与成本核算确定合理级数，而非片面追求更低的铁含量。某企业采用前置8000-10000GS板式除铁器、后置不低于10000GS立环磁选机的两级配置，配合上述参数协同控制，可将石英砂中三氧化二铁含量由最大0.20%降至0.08%以下。

磁选对石英颗粒内部结构性铁基本无能为力，仍需配合酸洗进一步处理，具体流程如图2所示。

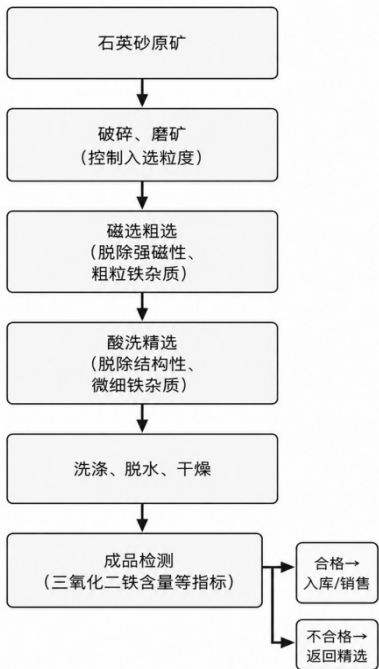


图2 磁选粗选+酸洗精选组合除铁工艺流程图

## 三、生产实践中的注意事项

在实际生产运行中，磁选除铁工艺还应关注以下几个方面：  
磁介质在长期使用后会因铁磁性颗粒附着而导致捕获能力下

降,需按生产计划定期冲洗清理;磁极和励磁线圈也存在老化问题,应建立定期检测和更换机制,避免因磁场强度衰减而影响除铁效果,同时需关注设备运行温度,防止长时间高负荷运行导致线圈过热。与此同时,高梯度强磁选设备能耗相对较高,企业应结合实际产量需求,避免设备长期处于低负荷或超负荷运行状态,以控制单位产品的能耗成本,并可根据订单情况灵活调整开机级数,减少不必要的空耗。

对于铁含量较高的原料,宜采用磁选粗选与酸洗精选相结合的组合工艺路线,通过磁选降低进入酸洗工序的原料含铁量,从而减少酸耗和废酸处理量,兼顾除铁效果与生产成本,并有利于降低酸洗环节的安全与环保压力。此外,还应建立定期取样检测制度,跟踪磁选前后石英砂中三氧化二铁含量的变化情况,及时发现工艺参数漂移或设备性能衰减问题,以保证成品质量的稳定性;对于磁场强度、给矿浓度等关键工艺参数,宜建立台账记录,便于追溯和持续改进。

此外,磁选工艺参数的调整对操作经验依赖程度较高,企业应加强一线操作人员的技术培训,使其能够根据原料波动及时判

断并调整工艺参数,减少因操作不当造成的除铁效果波动。

四、结论

磁选法作为玻璃用石英砂除铁提纯的重要技术手段之一,具有工艺简单、运行成本较低、无二次污染等优势。生产实践中,除铁效果不仅取决于设备类型的选择,磁场强度、给矿粒度、给矿浓度、磁介质结构及分选级数等工艺参数的合理匹配同样至关重要,任何一项参数设置不当都可能造成除铁率下降或成品率损失。由于磁选对石英颗粒内部结构性铁杂质的脱除能力有限,企业在实际生产中宜将磁选与酸洗等工艺合理组合,形成粗选与精选相结合的除铁路线,在保证产品质量的同时兼顾生产成本。后续可进一步结合具体原料的矿物组成特征,开展工艺参数的系统性优化研究,为玻璃用石英砂提纯工艺的持续改进提供支撑。本文所引用的生产数据来自单一企业的实践案例,不同企业因原料特性、设备条件存在差异,具体参数仍需结合自身实际情况加以调整。

参考文献

[1] 李峰,陈飞鹏,乔成芳,等.超声辅助酸洗去除洛南石英砂中铁杂质[J].当代化工,2025,54(11):2575-2578+2585.DOI:10.13840/j.cnki.cn21-1457/tq.2025.11.035.  
[2] 贺欣欣,邹旦,温云祥,等.某石英砂浮选降铁工艺及机理研究[J].四川化工,2024,27(1):9-12+19.  
[3] 周鑫.干式磁选机在非金属矿磁选中的应用——干式对辊强磁选机[J].中国设备工程,2021,(1):253-254.  
[4] 陈剑,曾招科.大型高效 SLon 立环高梯度磁选机在非金属矿提纯中的应用[J].现代矿业,2021,37(4):133-137.  
[5] 朱国志,李勇,郑胜彪.按石英砂粒度进行分类磁选的磁选机及其除铁试验研究[J].长春工程学院学报(自然科学版),2024,25(2):29-32.