

铁矿提质降杂关键工艺技术研究分析

王 勇

新疆有色冶金设计研究院有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 随着钢铁工业对高品质铁精矿需求激增, 提质降杂成为选矿领域核心课题。本文聚焦铁矿提质降杂关键工艺技术展开研究分析。首先阐述铁矿提质降杂的重要性, 包括满足钢铁工业需求、提升资源利用效率及增强市场竞争力等方面。接着详细介绍磁选、浮选、重选以及联合工艺等关键提质降杂技术。随后探讨工艺优化方向, 如精细化选矿试验、引入智能化选矿设备、应用环保技术。最后展望铁矿提质降杂技术发展趋势, 涵盖智能化、环保化发展以及新材料与新工艺的探索, 旨在为铁矿提质降杂提供全面的技术参考与发展思路。

关键词: 铁矿; 提质降杂; 关键工艺技术; 发展趋势

引言: 钢铁工业作为国家基础性产业, 对铁矿石的质量要求日益提高。然而, 我国铁矿资源普遍存在品位低、杂质含量高的特点, 这给钢铁生产带来诸多挑战。铁矿提质降杂成为解决这一问题的关键环节, 不仅能直接提升铁矿石的品质, 满足钢铁工业对优质原料的迫切需求, 还能有效提高资源利用效率, 减少资源浪费。同时, 在激烈的市场竞争环境下, 高质量的铁矿石产品有助于企业增强市场竞争力, 获取更大的经济效益。因此, 深入研究铁矿提质降杂关键工艺技术具有重要的现实意义和战略价值。

1 铁矿提质降杂的重要性

1.1 满足钢铁工业需求

钢铁生产对铁精矿品质具有严格要求, 高硫铁精矿在冶炼过程中会产生硫化物, 导致钢水脱硫负担加重, 增加石灰等造渣剂消耗, 同时可能引发钢坯裂纹、韧性下降等质量问题。某磁铁矿原矿含硫2.15%, 直接磁选获得的铁精矿含硫量达1%以上, 无法满足炼钢要求; 而经提质降杂处理后, 铁精矿含硫量可降至0.19%, 铁品位提升至65.35%, 完全符合钢铁生产对原料的品质标准。因此, 提质降杂是保障钢铁产品质量、降低冶炼成本的核心环节, 直接满足钢铁工业规模化、高质量生产的需求。

1.2 提升资源利用效率

我国低品位、高杂质铁矿资源储量占比较大, 若因品质问题弃用, 将造成严重的资源浪费。通过提质降杂技术, 可将原本难以利用的低品位铁矿转化为合格原料, 延长资源服务年限。以某磁铁矿为例, 原矿铁品位仅40.50%, 经粗磨磁选抛尾后, 可预先抛除41.60%的尾矿, 在保证铁回收率的同时, 大幅减少后续磨矿与分选负荷, 使资源利用效率提升近30%。此外, 提质降杂过程中还可实现硫等伴生资源的回收, 如通过浮选工艺获得

硫品位28.74%的硫精矿, 实现资源综合利用。

1.3 增强市场竞争力

在全球铁矿资源竞争日益激烈的背景下, 高品质铁精矿具有更强的市场议价能力。我国部分钢铁企业依赖进口高品位铁矿, 而通过提质降杂技术提升国产铁精矿品质, 可降低对进口资源的依赖, 增强国内铁矿企业的市场竞争力。数据显示, 铁品位每提升1%, 钢铁企业冶炼成本可降低约2%; 含硫量每降低0.1%, 炼钢工序能耗可减少1.5%。某磁铁矿经优化工艺处理后, 铁精矿铁回收率达72.91%, 优质铁精矿的稳定供应使其在市场中占据优势地位, 为企业创造显著经济效益^[1]。

2 铁矿提质降杂关键工艺技术

2.1 磁选工艺

铁矿提质降杂中, 磁选工艺是磁铁矿提质的核心手段, 其重要性与应用要点如下: (1)磁选工艺依托矿物磁性差异实现分离, 是磁铁矿提质降杂的基础且关键工艺。它凭借流程简单、能耗较低、对磁铁矿选择性强等优势, 在铁矿选矿领域广泛应用。在实际操作中, 以某磁铁矿试验为例, 原矿经粗磨至-74 μm 占比20%后, 在127.39kA/m的磁场强度下进行湿式磁选, 能抛除41.60%的尾矿, 使铁精矿铁品位初步提升至64%以上, 效果显著。(2)磨矿细度与磁场强度是磁选工艺的关键控制参数。磨矿细度关乎矿物单体解离度, 试验发现, 当-74 μm 含量超过70%后, 铁精矿品位与回收率基本稳定, 此时矿物解离充分, 利于磁选分离。而磁场强度决定磁性矿物回收效率, 其升高虽能提升铁回收率, 但会使铁品位下降, 所以需依据矿石性质, 如磁性矿物含量、脉石成分等, 精准优化匹配这两个参数, 以实现最佳提质降杂效果。(3)磁选工艺存在一定局限性, 它难以分离强磁性的磁黄铁矿与磁铁矿, 若要实现深度脱硫, 需与其他

工艺,如浮选、重选等配合使用,通过多种工艺协同作用,进一步提升铁精矿质量,满足不同工业生产对铁矿产质的要求。

2.2 浮选工艺

浮选工艺作为铁矿深度脱硫的关键技术,在提升铁矿产质方面发挥着重要作用,其原理与应用要点如下:

(1)浮选工艺基于矿物表面润湿性差异开展工作。通过添加特定药剂,能够精准调节矿物表面性质,让目标矿物与杂质有效分离。尤其对于磁黄铁矿、黄铁矿等含硫矿物,该工艺展现出独特优势,是处理这类杂质的核心手段。由于磁黄铁矿可浮性不佳,需借助活化剂、捕收剂等药剂组合来增强分离效果。(2)从实际应用效果来看,在某磁铁矿磁精矿反浮选脱硫试验中,采用特定的复合活化剂(SH-1与硫酸铜)和捕收剂(丁基黄药与柴油),并精确控制药剂用量,铁精矿含硫量大幅降低,从1.64%降至0.41%。在磁粗精矿再磨浮选脱硫工艺中,优化药剂用量后,浮硫尾矿含硫量更是降至0.11%,充分证明了浮选工艺在脱硫方面的有效性。(3)浮选工艺的关键在于药剂制度优化与浮选条件控制。要根据含硫矿物的种类和含量灵活调整药剂组合,同时严格把控矿浆pH值、搅拌强度等参数。只有这样,才能提升脱硫效率,最大程度减少铁矿物损失,实现铁矿提质降杂的目标,满足钢铁等行业对高品质铁矿的需求。

2.3 重选工艺

(1)重选工艺有着独特的分离原理。它基于矿物密度差异来实现分离,对于那些粗粒嵌布且密度差异显著的铁矿,有着天然的适配性。在铁矿提质降杂的流程里,重选工艺常被安排在预处理阶段。它就像一位高效的“筛子”,能精准地抛除粗粒脉石,为后续工艺减轻负担;同时,对于粗粒铁矿物,它也能发挥辅助回收的作用,让资源得到更充分的利用。(2)重选工艺具备显著的优势。在环保方面,它无需大量药剂,大大减少了对环境的潜在污染,符合当下绿色发展的理念。在成本上,相较于其他一些工艺,它的投入更低,能有效降低企业的生产成本。而且,它特别适合处理含重晶石、石英等密度差异大的脉石矿物的铁矿,在这些场景下能展现出良好的分离效果。(3)重选工艺在实际应用中也有其局限性。对于细粒级铁矿,它的分离效果相对有限,需要与磁选、浮选等工艺配合使用。例如,采用重选预先抛除大块脉石,减少后续磨矿负荷。在高硫磁铁矿提质降杂中,它多作为辅助工艺,核心作用是提升整个流程的经济性,而非直接实现深度脱硫或提高铁品位。

2.4 联合工艺

在铁矿提质降杂领域,单一工艺往往难以兼顾铁品位的提升与杂质的深度脱除,而联合工艺凭借整合不同工艺优势,成为当下主流的技术发展方向。(1)目前应用最为广泛的联合工艺当属“磁选-浮选”联合工艺与“磁选-再磨-浮选-磁精选”复合联合工艺。以“原矿粗磨磁选抛尾-磁粗精矿再磨精选-磁精矿反浮选脱硫”工艺为例,它虽能获得铁品位65.18%、含硫0.41%的铁精矿,但含硫量仍有超标风险,这表明该工艺在杂质深度脱除方面存在一定不足。(3)在此基础上进行优化,诞生了“原矿粗磨磁选抛尾-磁粗精矿再磨浮选脱硫-浮硫尾矿磁精选”联合工艺。此工艺通过巧妙调整浮选脱硫与磁精选的顺序,成功实现了杂质脱除与铁品位提升的双重目标。最终可获得铁品位65.35%、含硫0.19%、铁回收率72.91%的优质铁精矿,同时还回收了硫品位28.74%的硫精矿,硫回收率达77.85%。(4)该优化后的联合工艺核心优势显著。它通过“磁选抛尾减负荷、再磨解离提精度、浮选脱硫除杂质、磁精选提品质”这一科学合理的流程设计,在实现资源高效利用的同时,达成了杂质深度脱除的平衡,为铁矿提质降杂提供了更为有效的技术方案^[2]。

3 铁矿提质降杂工艺优化方向

3.1 精细化选矿试验

精细化选矿试验是提升铁矿提质降杂效果的关键路径。通过开展系统的矿物学研究,明确矿石中各矿物的嵌布特性、粒度分布及共生关系,为精准制定选矿流程提供依据。优化磨矿分级环节,依据矿石硬度、可磨性等特性,调整磨机转速、钢球配比等参数,实现矿物充分解离且不过磨,降低后续选别难度。在选别工艺上,针对不同矿石性质,对比多种选矿方法,如磁选、浮选、重选等,探索联合选矿流程,提高精矿品位与回收率。同时,加强选矿药剂的研发与筛选,寻找高效、低毒、环保的药剂配方,改善矿物表面性质,增强目的矿物与脉石矿物的分离效果,减少杂质含量,提升铁矿产品质量。

3.2 智能化选矿设备引入

引入智能化选矿设备是推动铁矿提质降杂工艺升级的重要举措。智能化磨矿设备可实时监测磨机内部状态,如磨矿浓度、粒度分布等,通过自动调节给矿量、磨机转速等参数,实现磨矿过程的精准控制,确保磨矿产品粒度均匀,提高矿物解离度。智能磁选设备配备先进的传感器与控制系统,能根据矿石性质自动调整磁场强度、分选间隙等参数,提高磁选效率与精矿品位,有效降低尾矿中的铁含量。此外,智能化设备还具备数据

采集与分析功能,可对选矿过程中的各项指标进行实时监测与记录,通过大数据分析优化选矿工艺参数,实现选矿过程的智能化、自动化运行,提升整体选矿效率与产品质量稳定性。

3.3 环保技术应用

环保技术在铁矿提质降杂工艺中的应用至关重要。在选矿废水处理方面,采用物理、化学与生物相结合的综合处理方法,去除废水中的重金属离子、悬浮物及有机物等污染物,实现废水达标排放或回用,减少水资源浪费与环境污染。针对选矿过程中产生的粉尘,安装高效的除尘设备,如布袋除尘器、静电除尘器等,对破碎、筛分、运输等环节产生的粉尘进行收集与净化处理,降低粉尘排放浓度,改善作业环境。同时,推广应用绿色选矿药剂,减少传统药剂对环境的危害。此外,加强选矿厂区的绿化与生态修复工作,种植适宜的植被,吸收空气中的有害气体,降低噪音污染,打造绿色、环保的选矿生产环境,实现铁矿提质降杂与环境保护的协调发展^[3]。

4 铁矿提质降杂技术发展趋势

4.1 智能化发展

随着人工智能、大数据、5G等新一代信息技术的深度应用,铁矿提质降杂技术正加速向智能化转型。智能矿山建设已从概念探索阶段迈入规模化推广阶段,通过构建“地质透明化、装备智能化、生产自动化、管理数字化”的新型矿山体系,实现生产全要素数字化、全流程可视化、全环节可控化。例如,利用数字孪生技术构建虚拟矿山,实时反映物理矿山运行状态,为生产决策提供科学依据;通过AI算法优化选矿工艺参数,实现精准控制与动态调整,提升精矿品位与回收率;引入智能勘探装备与无人开采技术,降低安全风险与人力成本。智能化发展不仅提升了铁矿提质降杂的效率与精度,还推动了行业向本质安全、高效集约、绿色低碳方向迈进。

4.2 环保化发展

环保化是铁矿提质降杂技术发展的另一重要趋势。随着全球对环境保护的重视及“双碳”目标的推进,铁矿行业需在提升资源利用率的同时,减少对环境影响。一方面,通过优化选矿工艺,降低能耗与废水排

放,例如采用新型浮选药剂减少化学药剂使用量,利用高效污水处理技术去除选矿废水中的有害物质;另一方面,加强尾矿综合利用,回收伴生有价元素,减少固体废弃物堆积,提升资源综合利用效率。此外,绿色矿山建设成为行业共识,通过推广清洁生产技术、完善碳排放核算体系,推动铁矿开采与加工向低碳、循环方向转型,实现经济效益与环境效益的双赢。

4.3 新材料与新工艺探索

新材料与新工艺的探索为铁矿提质降杂提供了新的突破口。针对低品位、难选铁矿石,研发新型选矿设备与药剂成为关键。例如,高梯度磁选机在细粒级铁矿物处理中展现良好效果,新一代耐低温绿色环保阳离子捕收剂提升了阳离子反浮选工艺的脱硅效率;焙烧磁选、强矫顽力人工磁铁矿脱磁等技术措施,配合细磨工艺,实现了含铁脉石与铁矿物的有效分离。同时,新材料的应用也推动了选矿设备的升级换代,如柱磨机、大型充气式机械搅拌浮选机等新型设备,提高了磨矿效率与选别精度^[4]。

结束语

铁矿提质降杂关键工艺技术的研究分析,是推动钢铁行业高质量发展的关键一环。磁选、浮选、重选等单一工艺各有优劣,联合工艺则整合优势,实现了资源高效利用与杂质深度脱除的平衡。未来,随着科技的不断进步,我们应持续优化现有工艺,探索创新技术,提升铁矿提质降杂水平,降低生产成本与环境影响。这不仅有助于提高我国铁矿资源的综合利用率,增强钢铁产业的核心竞争力,更为保障国家资源安全、推动经济可持续发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1]王春红.尾矿资源化利用与生态治理技术研究[J].资源与环境工程,2025(6):55-59.
- [2]王山.铁矿选矿过程中的能效提升与流程再设计[J].矿产资源开发,2025(1):70-74.
- [3]姚占辉.现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用探讨[J].新疆有色金属,2020,43(04):69-70.
- [4]肖政.关于铁矿采矿工艺技术探索[J].冶金管理,2023,(21):43-45.