

煤炭洗选脱硫技术

落永平 白 龙 贾宝爱

国源电力有限公司上榆泉煤矿 山西 忻州 034000

摘要: 煤炭作为重要能源,其含硫组分燃烧产生的污染物危害环境与生态,洗选脱硫是煤炭清洁利用的关键环节。传统洗选脱硫技术存在适用煤种有限、脱硫效果不足等局限,新型技术虽具有优势但尚未成熟。本文分析煤炭中硫的赋存形态与洗选脱硫原理,探讨不同类型洗选脱硫技术特性及关键影响因素,提出工艺优化、药剂研发、设备升级等策略,为煤炭洗选脱硫技术的高效应用与升级发展提供参考。

关键词: 煤炭洗选脱硫;技术分析;影响因素;优化策略

引言:在能源结构转型背景下,煤炭清洁利用成为行业发展核心诉求,而硫污染问题是制约煤炭绿色应用的重要瓶颈。煤炭燃烧释放的含硫污染物会引发酸雨、空气污染等环境问题,威胁生态平衡与人体健康,因此脱硫处理已成为煤炭加工的必要环节。洗选脱硫因经济性与环保性优势成为主流技术,但受煤质特性、工艺参数等因素影响,现有技术存在脱硫效率不均、适用范围受限等问题。基于此,本文系统研究煤炭洗选脱硫技术相关问题,提出针对性优化策略,助力煤炭清洁利用水平提升。

1 煤炭中硫的赋存形态与洗选脱硫原理

1.1 煤炭中硫的主要赋存形态

煤炭中的硫根据赋存形态的差异,可分为有机硫、无机硫两大类,其中无机硫是煤炭中硫的主要存在形式之一。有机硫是煤炭有机质的重要组成部分,其与煤炭中的碳、氢、氧等元素通过化学键紧密结合,分布较为均匀,难以通过简单的物理方法分离。无机硫主要以硫化物硫和硫酸盐硫的形式存在,硫化物硫中最常见的是黄铁矿,此外还有白铁矿、闪锌矿等少量其他硫化物;硫酸盐硫则多以石膏等形式存在,在煤炭中的含量相对较低。不同赋存形态的硫在煤炭燃烧过程中都会释放出有害物质,因此脱硫处理是煤炭清洁利用的关键环节。

1.2 煤炭洗选脱硫的核心原理

煤炭洗选脱硫的核心原理基于硫与煤炭基体在物理性质上的差异,通过一系列物理分选工艺实现硫与煤炭的分离。对于无机硫尤其是黄铁矿而言,其密度远大于煤炭本身,这是洗选脱硫的核心依据。洗选过程中,将破碎后的煤炭颗粒放入特定的分选介质中,利用密度差异使煤炭颗粒与黄铁矿等含硫矿物颗粒产生不同的运动轨迹,从而实现两者的分离。对于部分与煤炭结合较为松散的有机硫,在洗选过程中,随着煤炭颗粒的破碎和

解离,也能伴随无机硫的分离过程去除一部分。整体而言,洗选脱硫通过利用物理性质差异实现分选,可有效降低煤炭中的硫含量,提升煤炭品质,为后续煤炭的清洁燃烧奠定基础^[1]。

2 煤炭洗选脱硫技术的分类与特性分析

2.1 物理洗选脱硫技术

物理洗选脱硫技术是最早应用、最成熟且应用最广泛的脱硫技术,核心基于煤与含硫矿物的物理性质差异实现分离,具有工艺简单、成本低廉、不改变煤炭原有性质、无二次污染等显著特点。该技术适用于脱除嵌布相对松散的无机硫,尤其对黄铁矿硫脱除效果突出,但对有机硫和细嵌布硫的脱除效果较差。其主要涵盖重力洗选、浮选、磁选等关键技术。(1)重力洗选技术利用煤与含硫矿物的密度差异进行分离,常见工艺包括跳汰洗选、重介质洗选、摇床洗选等。其中重介质洗选技术因分选精度高、适应性强,在大型选煤厂应用广泛,能有效处理一定粒度范围的煤炭,对嵌布粒度较粗的黄铁矿硫脱除效果较好;跳汰洗选技术则适用于中等粒度煤炭处理,具有处理量大、设备投资和运行成本较低的优势,但分选精度略低于重介质洗选^[2]。(2)浮选技术依托煤与含硫矿物的表面润湿性差异实现分离,煤炭表面疏水易附着于气泡上浮,黄铁矿等含硫矿物表面亲水留存矿浆中,适用于细粒级煤炭处理,对细嵌布黄铁矿硫脱除具有独特优势。磁选技术则利用含硫矿物与煤炭的磁性差异,在强磁场作用下吸附分离具有弱磁性的黄铁矿,适用于含有磁性含硫矿物的煤炭处理。(3)物理洗选脱硫技术的核心优势在于经济性和环保性,其运行成本仅为化学脱硫技术的1/3-1/2,且不会产生大量化学废液,但受煤质特性和硫赋存形态严格限制,难以实现深度脱硫,对于有机硫含量较高的煤种脱硫效果有限。

2.2 物理化学洗选脱硫技术

物理化学洗选脱硫技术融合了物理分离和化学作用的双重优势,通过调节体系物理化学条件,改变煤或含硫矿物的表面性质,或使含硫组分发生化学转化后再进行物理分离,脱硫效果优于单纯物理洗选技术,尤其对部分细嵌布硫和有机硫具有一定脱除能力。该类技术主要包括浮选脱硫强化技术、化学浸出-物理分离联合技术、微波辅助脱硫技术等。(1)浮选脱硫强化技术通过添加高效浮选药剂,调节矿浆pH值、温度等条件,强化煤与含硫矿物的表面性质差异,从而提升浮选脱硫效率。例如在浮选过程中添加抑制剂可选择性抑制黄铁矿上浮,添加活化剂可提升煤炭可浮性,通过优化工艺条件可显著提升细粒煤的黄铁矿硫脱除效果。(2)化学浸出-物理分离联合技术先通过化学浸出剂与含硫组分发生反应,使含硫矿物溶解或转化为易分离形态,再通过物理方法分离脱除。常用浸出剂包括酸浸剂、碱浸剂、氧化剂等,盐酸浸出可溶解黄铁矿等硫化物硫,氢氧化钠浸出可分解部分有机硫。该技术脱硫效果受多种工艺因素影响,在适宜条件下总硫脱除率可达60~85%,但存在浸出剂消耗量大、设备腐蚀等问题,需配套废液处理工艺。(3)微波辅助脱硫技术利用微波的热效应和非热效应,使煤中含硫矿物颗粒内部产生温度梯度导致颗粒破裂,同时改变其表面化学性质,增强与煤基质的分离效果。该技术具有处理效率高、能耗相对较低的特点,可有效提升黄铁矿硫脱除率。总体而言,物理化学洗选脱硫技术脱硫效果优于物理洗选,但工艺复杂度和运行成本有所增加,适用于对脱硫要求较高的煤种处理。

2.3 新型洗选脱硫技术

随着煤炭清洁利用要求的不断提高,新型洗选脱硫技术持续涌现,核心聚焦于提升脱硫效率、拓展适用煤种、降低能耗和成本,重点解决传统技术难以处理的细嵌布硫、有机硫以及低品位煤炭的脱硫问题,主要包括微生物脱硫技术、超临界流体脱硫技术、超声辅助脱硫技术等。(1)微生物脱硫技术利用特定微生物的代谢作用,将含硫矿物转化为可溶性硫酸盐后通过物理方法分离,或直接分解有机硫中的化学键。该技术具有反应条件温和(常温常压)、环保无二次污染、对细嵌布硫和有机硫脱除效果好等特点,总硫脱除率可达70-90%。其核心在于高效菌种的筛选和培养,目前已发现多种高效脱硫菌种,适用于低品位煤炭和难选煤的脱硫处理,但存在反应周期较长、处理量较小的问题,目前仍处于中试阶段,尚未实现大规模工业化应用^[3]。(2)超临界流体脱硫技术以超临界二氧化碳、超临界水等为萃取剂,利用超临界流体的高溶解性和高扩散性,选择性萃取煤

中的有机硫和部分无机硫。其中超临界二氧化碳对煤中噻吩类有机硫具有良好萃取效果,超临界水则利用强氧化性在高温高压条件下将含硫组分氧化为可溶性硫酸盐,总硫脱除率可达80-95%。该技术具有脱硫效率高、处理速度快、无废液排放等优势,但对设备耐压耐高温性能要求极高,设备投资成本高昂,限制了其工业化推广。(3)超声辅助脱硫技术利用超声波的空化效应,在矿浆中产生大量微小气泡,气泡破裂产生的冲击波可破坏煤中含硫矿物与煤基质的结合,同时强化药剂与含硫矿物的作用,提升脱硫效率。该技术具有设备简单、易于与现有工艺结合的特点,可有效提升传统浮选脱硫效率,是一种具有良好应用前景的辅助脱硫技术。总体来看,新型洗选脱硫技术目前大多处于研发或中试阶段,虽在脱硫效果上具有优势,但在经济性和规模化应用方面仍需进一步优化。

3 煤炭洗选脱硫技术的关键影响因素

3.1 煤质特性因素

煤质特性是决定煤炭洗选脱硫效果的基础因素,其对脱硫技术的适配性和脱硫效率具有根本性影响。煤中硫的赋存形态直接决定脱硫难度,煤中硫主要分为无机硫和有机硫,无机硫多以黄铁矿等硫化物形式存在,与煤体结合相对松散,易通过物理洗选方法分离;而有机硫与煤分子结构紧密结合,物理洗选技术难以去除,大幅限制了脱硫效率。煤的粒度组成与孔隙结构影响洗选过程中的分选效果,粒度分布均匀且孔隙发达的煤样,便于分选介质与煤中硫组分充分接触,提升分离效率;若煤样粒度差异过大或孔隙堵塞,会导致分选不充分,降低脱硫效果。煤的密度、硬度等物理性质也会影响分选工艺的选择,不同密度的煤与硫矿物的分选难度不同,硬度较高的煤样在破碎、研磨过程中能耗更高,且可能导致硫矿物嵌布状态变化,间接影响脱硫效果。

3.2 工艺操作因素

工艺操作参数是调控煤炭洗选脱硫效率的关键变量,直接影响洗选过程的稳定性和脱硫效果的可控性。一是分选介质的选择与参数设置至关重要,不同洗选工艺所用分选介质(如重介质、水、空气等)的密度、粘度等性质,需与煤质特性精准匹配,若介质密度设置不合理,会导致煤与硫矿物分选不彻底;介质粘度超标则会影响颗粒沉降或悬浮速度,降低分选精度。二是破碎与研磨强度直接决定煤样的解离程度,适度的破碎研磨可使嵌布在煤中的硫矿物充分解离,形成独立颗粒便于分离,但过度破碎会产生大量细煤泥,增加分选难度,甚至造成有用煤组分损失;研磨不足则无法实现硫矿物

与煤体的有效解离,脱硫效果不佳。三是分选设备的运行参数,如分选时间、流速、振幅等,会影响分选过程的动态平衡,参数波动过大易导致分选工况不稳定,进而降低脱硫效率的稳定性^[4]。

3.3 经济与环境因素

经济与环境因素是煤炭洗选脱硫技术推广应用的关键保障,直接决定技术可行性与可持续性。经济层面,核心考量投资与运行成本,设备购置、工艺改造等初始投资及介质消耗、能耗等运行费用,直接影响企业效益,过高成本会限制规模化应用,副产物处理成本也会增加经济负担。环境层面,副产物处置不当易引发二次污染,过程能耗还会增加碳排放,与环保要求形成约束。平衡经济成本与环境负荷,是技术实现可持续应用的前提。

4 煤炭洗选脱硫技术的优化策略

4.1 优化洗选工艺参数配置

洗选工艺参数的合理性直接影响脱硫效率,需结合煤炭煤质特性开展针对性优化。针对不同粒度、硫分含量的煤炭,精准调整分选密度,通过浮沉试验确定最优密度区间,避免因密度过高导致脱硫不彻底或密度过低造成煤炭资源浪费。优化分选设备的运行参数,如跳汰机的冲程与冲次、重介质旋流器的介质循环量与压力,确保分选过程的稳定性与高效性。此外,构建多段分选工艺体系,对初次分选后的产品进行二次精选,强化对细粒级高硫煤炭的分选效果,进一步提升整体脱硫效率,实现煤炭资源的梯级利用。

4.2 研发与应用高效脱硫药剂

脱硫药剂的性能是提升化学洗选脱硫效果的关键,需重点推进高效、低耗药剂的研发与应用。针对无机硫与有机硫的不同特性,开发专用螯合型脱硫药剂,增强药剂与硫元素的反应特异性,提高脱硫选择性,减少药剂对煤炭热值的影响。优化药剂复配方案,将不同类型药剂按比例混合使用,利用协同作用提升脱硫效率,降低单一药剂的使用量与成本。改进药剂添加方式,采用分段式、精准定量添加技术,根据洗选过程中煤炭的实时状态调整药剂用量,避免药剂过量造成二次污染,实

现脱硫效果与经济效益的平衡。

4.3 升级改造洗选设备与智能化管控

设备性能的提升与智能化管控的应用是推动洗选脱硫技术升级的重要支撑。对传统洗选设备进行升级改造,采用高效节能的新型分选设备,如高效重介质旋流器、智能跳汰机等,提升设备的分选精度与处理能力。引入智能化监测与管控系统,利用传感器实时采集洗选过程中的关键参数,如煤质指标、设备运行状态、脱硫效率等,通过大数据分析实现参数的动态调整与设备的智能运维。构建全流程自动化洗选生产线,减少人为操作误差,提升生产稳定性,同时通过智能调控实现能源消耗的精准控制,推动煤炭洗选脱硫技术向高效、节能、绿色方向发展^[5]。

结束语:在能源结构转型背景下,煤炭清洁利用成为行业发展核心诉求,而硫污染问题是制约煤炭绿色应用的重要瓶颈。煤炭燃烧释放的含硫污染物会引发酸雨、空气污染等环境问题,威胁生态平衡与人体健康,因此脱硫处理已成为煤炭加工的必要环节。洗选脱硫因经济性与环保性优势成为主流技术,但受煤质特性、工艺参数等因素影响,现有技术存在脱硫效率不均、适用范围受限等问题。基于此,本文系统研究煤炭洗选脱硫技术相关问题,提出针对性优化策略,助力煤炭清洁利用水平提升。

参考文献

- [1]张慧敏.煤炭洗选节能降耗技术的应用研究[J].能源与节能,2025,(03):91-93+96.
- [2]王琪,华超,胡冬.自动高效洁净洗选技术在选煤厂中的应用研究[J].内蒙古煤炭经济,2025(11):163-165.
- [3]王明.高效煤炭洗选技术在煤炭工程中的应用[J].煤炭工程,2022,48(5):34-40.
- [4]王尧.煤炭洗选加工主要存在的问题及对策措施[J].矿业装备,2023(9):28-30.
- [5]张振斌.选煤厂浮选机自动化控制系统优化设计改造[J].自动化与仪表,2021,36(7):64-68.