

煤炭洗选技术及洗选工艺优化

蔡 蒙

兖矿能源集团股份有限公司东滩煤矿 山东 济宁 273500

摘 要：煤炭作为我国主体能源，其清洁高效利用是能源发展的重要方向，而洗选是煤炭提质降杂的核心环节。本文阐述了煤炭洗选的基本原理，包括基于物理、化学及物理化学性质差异的分选机制；分析了物理分选（跳汰、重介、浮选、干法）、化学与物理化学分选（脱硫、溶剂萃取、絮凝）等关键技术；系统探讨了工艺优化方法，涵盖流程结构适配、分选参数调控、设备选型改造及智能化技术集成。研究表明，通过技术创新与工艺优化，可提升煤炭洗选效率与精度，为煤炭提质、降污及高效利用提供技术支撑，对推动煤炭工业绿色发展具有重要意义。

关键词：煤炭洗选；原理与作用；关键技术；洗选工艺优化技术

引言：当前煤炭洗选面临复杂煤质适配性不足、工艺效率待提升、智能化水平不高等问题。本文基于煤炭与杂质的属性差异，系统阐述洗选基本原理，解析物理、化学及物理化学分选关键技术，深入探讨流程结构、参数调控、设备改造及智能化集成等工艺优化路径，旨在为提升煤炭洗选技术水平、推动行业节能降耗提供理论与实践参考。

1 煤炭洗选的基本原理与作用

1.1 煤炭洗选的原理

煤炭洗选的本质是利用煤炭与杂质（矸石、硫铁矿等）在物理、化学或物理化学性质上的差异，通过特定工艺实现分离提纯的过程。其原理可归纳为以下三大类：（1）物理性质差异分选是最常用的方式，例如利用密度差异的重介选煤和跳汰选煤——煤炭密度通常在 $1.3\sim 1.8\text{g/cm}^3$ ，而矸石密度多大于 2.0g/cm^3 ，通过调整分选介质（如重悬浮液、水）的密度，可使煤炭颗粒上浮、杂质下沉；利用表面润湿性差异的浮选技术，则通过添加药剂改变煤粒表面疏水性，使其吸附在气泡上实现分离。（2）化学性质差异分选主要针对有害元素（如硫），通过化学反应将无机硫转化为可溶物或气体去除，例如碱浸脱硫工艺利用氢氧化钠与黄铁矿反应生成可溶性盐，实现脱硫净化。（3）物理化学性质协同分选则结合两者优势，如选择性絮凝技术通过添加絮凝剂，使特定颗粒形成絮团，再借助重力或离心力实现分离，适用于细粒煤的高效分选。

1.2 煤炭洗选的主要作用

煤炭洗选是煤炭加工的关键环节，其作用体现在能源利用、环境保护和经济价值提升三个方面：（1）提高煤炭质量。洗选可有效降低原煤中的灰分、硫分和水

分，如动力煤经洗选后灰分可降低，热效率可提升；焦煤通过洗选去除杂质，能提高焦炭强度，满足钢铁冶炼对高质量原料的需求。（2）在环境保护层面，洗选后的煤炭燃烧时，二氧化硫排放量可减少，烟尘排放量可降低，显著减轻燃煤污染；洗选过程中产生的煤泥经脱水处理后可作为燃料或建材原料，实现固废资源化。（3）在经济与能源效率上，优质精煤的市场价值更高，洗选后煤炭的单位热值成本可降低；低灰分煤炭在运输过程中可减少无效运力消耗，每吨洗选煤可节约运输能耗，间接提升能源利用效率^[1]。

2 煤炭洗选关键技术

2.1 物理分选技术

物理分选技术依靠煤炭与杂质在密度、表面特性、粒度等物理属性上的差异实现分离，其技术体系涵盖以下多种细分方法。（1）跳汰分选技术。通过垂直交变水流形成的脉动场工作，原煤在筛面上随水流做周期性上下运动，利用不同密度颗粒在脉动过程中的沉降速度差异实现分层。其核心在于水流脉动参数的控制，包括脉动频率（通常为 $30\sim 60$ 次/分钟）、振幅（ $50\sim 200\text{mm}$ ）以及上升水流与下降水流的时间比，这些参数需根据煤质特性动态调整。设备结构以筛板、风阀、水箱为核心，筛板孔径根据入选原煤粒度确定，一般为 $10\sim 50\text{mm}$ ，以减少细粒煤的透筛损失。（2）重介分选技术。以高密度悬浮液作为分选介质，介质密度通常控制在 $1.3\sim 2.0\text{g/cm}^3$ ，通过调节介质中加重质（如磁铁矿粉）的浓度实现密度调控。分选过程在重介分选机内完成，依据阿基米德原理，密度低于介质的煤粒上浮，高于介质的杂质下沉。加重质需具备高密度、易回收的特点，磁铁矿粉因密度大（ $4.5\sim 5.0\text{g/cm}^3$ ）、可通过磁选回收（回收率可达95%以上）而成为主流选择。重介分选机的关键参数包括滚筒转速、介质循环量、分流比，这些参数直接影响分

选精度和介质消耗。(3) 浮选技术。针对细粒煤(通常小于0.5mm)设计,利用煤粒与矸石表面润湿性的差异实现分离。其技术核心在于矿浆环境调控与药剂作用,矿浆浓度一般控制在8-15%,pH值维持在6-8,以优化药剂效果。捕收剂(如煤油、柴油)通过吸附在煤粒表面增强其疏水性,起泡剂(如松油、仲辛醇)则用于产生稳定的气泡(直径通常为0.1-1mm),使煤粒能够随气泡上浮至矿浆表面。浮选机的叶轮转速和充气量需匹配,以保证气泡与颗粒的有效接触。(4) 干法分选技术。无需水介质,依托风力、振动或复合力场实现分选。空气重介流化床技术通过流化床内气固两相流形成均匀的密度场,其密度可通过调整床层物料(如磁铁矿粉与石英砂的混合物)的配比控制。振动干法分选机则利用振动产生的惯性力与风力协同作用,使不同密度颗粒在倾斜筛面上实现分层。

2.2 化学与物理化学分选技术

化学与物理化学分选技术主要用于处理常规物理方法难以分离的煤种,主要分选技术如下:(1) 化学脱硫技术。通过化学反应将煤中的硫分转化为可溶物或气体去除,根据反应类型可分为氧化法、还原法和碱溶法。氧化法利用氧化剂(如过氧化氢、硝酸)将有机硫和无机硫氧化为硫酸盐或磺酸类物质,在酸性条件下实现溶解;还原法适用于无机硫的脱除,通过还原剂(如硫化钠、氢气)将硫铁矿转化为可溶性硫化物;碱溶法则利用强碱(如氢氧化钠)在高温(200-300℃)下与煤中的硅铝酸盐反应,同时脱除部分有机硫。反应温度、时间、药剂浓度及煤料粒度是影响脱硫效率的关键参数,需根据硫的存在形态调整。(2) 溶剂萃取技术。利用煤炭与杂质在特定溶剂中溶解度的差异实现分离,溶剂的选择需满足对煤有机质的高溶解性和对无机矿物质的低溶解性。常用溶剂包括极性溶剂(如甲醇、乙醇)和非极性溶剂(如四氢呋喃、环己烷),萃取过程可在常温或加热(50-200℃)条件下进行,部分工艺需配合加压(0.5-5MPa)以提高萃取效率。萃取后的溶液通过蒸馏实现溶剂回收与煤的分离,溶剂回收率通常在90%以上。(3) 选择性絮凝技术。针对细粒煤泥(小于0.074mm),通过添加絮凝剂使特定颗粒形成絮团而实现分离。絮凝剂分为无机絮凝剂(如明矾、聚合氯化铝)和有机高分子絮凝剂(如聚丙烯酰胺),其作用机制是通过电荷中和或桥联作用吸附细颗粒。为提高选择性,常配合使用调整剂(如pH调节剂、抑制剂),使煤粒表面形成稳定的疏水絮团,而矸石颗粒则保持分散状态^[2]。

3 煤炭洗选工艺优化的关键技术

3.1 流程结构优化技术

流程结构优化核心在于通过合理的环节衔接提升整体分选效率。其技术要点包括以下分选环节的适配性选择、分级分选的精细化设计以及联合工艺的协同性调控。(1) 分选环节的适配性选择。以煤质分析为基础,根据原煤的可选性(如密度组成、粒度分布、硫分赋存状态)确定主体分选技术。对于块煤(大于13mm),可优先采用跳汰或重介浅槽分选;末煤(13-0.5mm)适合重介旋流器分选;细粒煤(小于0.5mm)则需搭配浮选工艺。通过避免“大材小用”或“小材大用”的技术错配,减少无效分选环节。(2) 分级分选的精细化设计。强调按粒度分段优化工艺,通过预先筛分将原煤分为不同粒级,针对各粒级特性设置独立分选系统,可降低粒级混杂对分选精度的干扰。如块煤与末煤的分选介质密度、设备运行参数存在显著差异,分级处理能使各系统参数更精准地匹配物料特性。合理设置脱泥环节,对于高泥化煤种,可在主选前增加脱泥筛或水力分级设备,减少细泥对后续分选介质的污染。(3) 联合工艺的协同性调控。当单一技术无法满足分选要求时,要通过工艺串联或并联实现互补。串联工艺中,前序环节需为后序环节创造有利条件,如重介分选后的精焦煤可进入浮选进一步降灰;并联工艺则根据物料性质分配处理比例,使不同粒级或品质的物料进入最适配的分选系统。

3.2 分选参数动态调控方法

分选参数的动态调控核心在于建立参数与分选效果的关联模型,实现精准化调节。关键参数包括以下方面:(1) 介质密度调控。适用于重介分选系统,要根据原煤密度组成设定目标密度,并通过在线密度计反馈数据实时调整加重质添加量与分流比。当原煤中高密度颗粒比例增加时,需提高介质密度以避免精煤损失;反之则降低密度以减少杂质混入。调控精度需控制在 $\pm 0.01\text{g/cm}^3$ 范围内,通常通过变频泵调节加重质添加速率,配合分流阀开度控制循环介质的排放量。(2) 液位与水流参数调控。跳汰过程中,液位高度决定分选空间,需根据入选原煤量动态调整,通常通过闸板高度或溢流口位置控制;水流脉动的频率与振幅需匹配煤粒粒度,粗粒煤需采用低频率、大振幅参数,细粒煤则需高频率、小振幅设置。浮选系统中,矿浆液位影响泡沫层厚度,需通过尾矿排出量调节,同时需控制搅拌强度以保证药剂与煤粒的充分接触,搅拌转速通常设定在1800-2500r/min。(3) 药剂参数调控。聚焦于浮选药剂的种类与用量配比,捕收剂与起泡剂的比例需根据煤粒表面特性调整,高变质程度煤需增加捕收剂用量,氧化煤则需提高起泡

剂比例。药剂添加量需与矿浆浓度联动，浓度升高时按比例增加药剂投入，通常每吨干煤的捕收剂用量为0.5–2kg，起泡剂为0.1–0.5kg^[3]。

3.3 设备选型与改造技术

设备选型与改造核心技术包括以下设备适配性选择、关键部件结构优化以及能耗控制改造。（1）设备适配性选择。要依据处理量、分选精度要求及煤质特性确定机型。处理量大的选煤厂宜选用大型化设备，如直径3.5m以上的重介旋流器或单台处理量500吨/小时以上的跳汰机；对分选精度要求高的焦煤分选，需优先选择重介分选设备；易泥化煤种则应避免采用湿法细粒分选设备，转而选用干法分选机型。设备材质选择需考虑耐磨性，重介设备接触部件多采用高铬铸铁或聚氨酯，浮选机叶轮则采用耐磨橡胶材质。（2）关键部件结构优化。跳汰机的筛板可改为梯形孔结构，提高透筛效率并减少堵塞；重介旋流器的锥角与溢流管直径可根据煤粒粒度调整，粗粒煤适配大锥角（20°–30°），细粒煤则采用小锥角（10°–15°）。浮选机的导流装置可增加循环矿浆量，提升气泡与煤粒的碰撞概率；脱水设备的滤布可选用高透气度材质，配合压榨辊压力调节，提高脱水效率。（3）能耗控制改造。通过更换高效电机降低驱动能耗，电机效率需达到IE3及以上标准；风机与泵类设备可采用变频调速技术，根据负载变化调节转速；重介系统的磁选机可升级为高梯度磁选设备，提高介质回收率以减少加重质消耗；干燥设备则可采用余热回收装置，利用锅炉尾气预热入料，降低热能损耗。

3.4 智能化优化技术集成

智能化优化技术通过融合检测、分析与控制功能，实现洗选过程的自主调节，包括以下智能传感网络、数据驱动模型与自动执行机构的集成应用。（1）智能传感网络。要覆盖关键工艺节点，实现参数的实时采集。煤质检测采用在线灰分仪、X射线荧光硫分仪，分析精度达0.1%；设备状态监测通过振动传感器、温度传感器采

集轴承振动、电机温度等数据；介质性能监测则依赖密度计、浓度计与磁性物含量仪。传感器数据需通过工业以太网传输至控制系统，采样频率不低于10Hz，确保数据的实时性。（2）数据驱动模型。采用机器学习算法建立分选效果预测模型，输入参数包括原煤灰分、介质密度、药剂用量等，输出精煤产率与灰分；通过聚类分析划分煤质类型，为不同煤质匹配预设参数方案；利用强化学习算法实现参数自寻优，根据实时分选效果动态调整控制策略。（3）自动执行机构集成应用。根据决策模型输出指令完成参数调节。重介系统中，由变频阀控制加重质添加量，电动执行器调节分流阀开度；浮选系统通过计量泵变频调节药剂流量，气动阀控制矿浆液位；跳汰系统则由伺服电机调整风阀开度与频率。执行机构的响应时间需小于1秒，调节精度控制在设定值的±2%以内，确保参数调整的及时性与准确性^[4]。

结束语

本文系统梳理了煤炭洗选的基本原理、关键技术及工艺优化方法，明确了物理与化学分选技术的适配场景，阐释了流程优化、参数调控、设备升级及智能化集成对提升洗选效率的作用。研究成果为解决复杂煤质分选难题、推动洗选工艺高效化与绿色化提供了思路。未来需进一步深化智能化技术与洗选工艺的融合，研发适配低阶煤、高硫煤的专用技术。

参考文献

- [1]杨辉.煤炭洗选技术及洗选工艺优化[J].环球市场,2019(29):382–383.
- [2]崔双瑞.煤炭洗选工艺技术应用现状及改造分析[J].能源与节能,2024(6):276–278.
- [3]杨勇,姜兴民.煤炭洗选工艺技术的应用及改造[J].当代化工研究,2024(6):138–140.
- [4]王孝晖.选煤厂洗选工艺技术的优化[J].自动化应用,2024,65(1):226–228.