

块煤分级破碎工艺对洗选效率的提升作用

崔致远

中国煤炭科工集团太原研究院有限公司 山西 太原 030006

山西天地煤机装备有限公司 山西 太原 030006

【摘要】：块煤分级破碎工艺是提升煤炭洗选效率的重要环节。通过对不同粒级块煤的分级破碎，可实现对原煤粒度结构的精确控制，使煤与矸石在后续分选过程中表现出更明显的密度差异。该工艺在实际生产中可有效降低过粉碎率，减少可选粒级间的混杂，提高分选介质的稳定性与分选精度。研究表明，在合理确定分级粒度界限与破碎方式的条件下，煤质均匀性与分选效率显著提高，精煤产率增加、灰分下降。相比传统整体破碎方式，分级破碎不仅优化了原煤入洗条件，还提高了设备处理能力与系统能效。综上，块煤分级破碎工艺通过控制粒度分布与减少无效能耗，实现了洗选过程的结构优化，为煤炭加工的高效、低耗提供了技术支撑。

【关键词】：块煤；分级破碎；粒度控制；洗选效率；精煤回收

DOI:10.12417/2811-0722.25.12.060

引言

煤炭资源在开采后直接进入洗选环节时，往往因粒度分布不均导致分选精度下降，能源浪费与精煤产率不足成为制约因素。传统破碎方式忽视了煤的物理结构与可选性差异，造成“过粉碎”与“欠破碎”并存的问题。随着选煤技术的发展，块煤分级破碎理念逐渐受到重视。通过在破碎前进行粒级划分，可针对不同粒级采用差异化破碎手段，使粒度控制更加科学，煤与矸石在分选介质中的分布规律更为清晰。这一思路的提出，为提高洗选系统整体效率提供了新的技术路径，也为煤炭精细化加工奠定了基础。

1 块煤粒度结构与洗选效率关系

1.1 原煤粒度特征与分选难点

块煤在开采与运输过程中形成的粒度组成具有高度不均匀性，不同粒径区间内煤与矸石的密度、含灰量及表面性质差异显著。大粒级块煤内部裂隙少、强度高，导致在分选介质中沉降速度快，不易实现精确分层；而细粒级部分则易受介质黏度与流体扰动影响，产生混层现象。粒度分布不均使得原煤在分选机中呈现出流态紊乱，介质密度场波动频繁，分选精度下降。若缺乏针对性的破碎与分级控制，煤与矸石的密度差难以充分显现，从而限制洗选系统的稳定运行与分离效果。

1.2 粒度分布对分选介质行为的影响

粒度过宽会导致介质浓度分布不均，阻力梯度变化剧烈，使颗粒受力状态不稳定。大粒煤下沉速度过快，会在介质层中形成局部紊流区，干扰中小粒级煤的分层运动；细粒组分过多则会增加介质黏度，降低分选床层的透气性。介质流体动力学特性与粒度分布的匹配度直接决定了分选界面的稳定性与精煤的分层效果。合理控制粒度范围，可使介质密度场更加均匀，颗粒运动呈层流状态，从而提升分选精度与洗选效率。

1.3 传统破碎方式的局限性

常规破碎工艺以整体破碎为主，未考虑不同粒级块煤的力学特征差异，易造成过度粉碎或破碎不足的问题。过粉碎使可选粒级煤减少，细粉含量上升，导致分选介质黏度增加、分离界面模糊；而破碎不足则使大粒级矸石夹杂于精煤中，降低产品纯度。传统破碎方式忽视了粒度控制的选择性原则，未能实现煤质均匀化，增加了后续分选负荷与能耗。设备能量利用率低，破碎产物粒度分布不合理，使洗选环节的介质循环系统难以稳定运行，整体选煤效率受到明显制约。

2 分级破碎工艺原理与技术要点

2.1 分级破碎的基本流程与设备结构

分级破碎工艺以原煤粒度检测为起点，通过筛分设备将原煤划分为若干粒级区间，再针对不同粒级选用对应破碎装置实现定向破碎。大粒级块煤多采用齿辊式或颚式破碎机，以控制破碎比并保持块度完整；中粒级则常用锤式或反击式破碎机，强调均匀化处理；细粒级部分可直接进入洗选环节而无需再次破碎。整个流程由筛分系统、分级输送机构与多级破碎单元组成，各级设备通过自动控制系统协同运行，实现粒度监测、负荷调节与破碎精度控制的闭环管理，确保入洗煤粒度结构稳定、分布合理。

2.2 粒级控制参数与破碎比设定

分级破碎的核心在于粒级界限与破碎比的科学设定。粒级划分需根据煤层结构、硬度系数及可选性曲线确定，使不同粒级的入洗煤在密度差上保持明显分层。破碎比的确定应兼顾能耗与粒度控制要求，过高会引起过粉碎，过低则难以满足洗选粒度标准。常用参数包括筛孔尺寸、辊隙宽度及转速比，通过调节这些指标可实现粒度分布的可控性。现代分级破碎系统多配备粒度在线检测仪与自动反馈装置，实时修正破碎比偏差，使产品粒度稳定在理想区间，提升煤质均匀度与后续分选的准

准确性。

2.3 工艺条件对煤质与能耗的影响

分级破碎的工艺条件直接决定破碎产物的煤质结构与系统能耗水平。破碎力矩、转速、入料湿度及筛分效率是影响能量消耗与粒度分布的关键因素。适当降低转速可减少细粒生成率，提升块煤比例；控制湿度可防止物料粘附筛面，保持筛分效率稳定。若破碎力过大，煤体内部结构被破坏，导致灰分上升与发热量下降；若破碎力不足，矸石夹杂增加，影响精煤纯度。通过合理匹配破碎机型与运行参数，不仅能保持煤质稳定性，还能减少电耗与机械磨损，实现破碎环节的高效节能化运行。

3 分级破碎在洗选环节中的应用效果

3.1 分级破碎对可选性指标的改善

分级破碎工艺通过精确控制入洗煤的粒度组成与破碎深度，显著提升了原煤的可选性。煤与矸石的密度差异在分级破碎后得到有效放大，使分选过程中的密度分层更为明显。采用多级破碎控制技术后，入洗煤的粒度分布更加集中，煤质均匀性提高，降低了中间粒级混杂造成的分选干扰。合理分级还能减少煤中夹杂矸石的比例，使可选性曲线更加陡峭，反映出更好的分选响应特征。在密度介质分选与浮沉试验中，分级破碎样品的分离系数显著降低，说明其分选精度得到提升。通过调整分级界限与破碎比参数，可在保证产率的同时提高精煤的纯度，为后续洗选提供理想的物料基础。

3.2 洗选效率与精煤回收率的提升分析

分级破碎在洗选环节中的应用，使得分选过程的流体动力学条件更为稳定。粒度结构均匀的入洗煤在重介质或跳汰分选设备中能够实现层流分布，避免介质紊流引起的分选误差。通过减少过粉碎颗粒比例，介质黏度维持在稳定区间，分选界面清晰，分层速度加快。实践结果表明，经过分级破碎处理的原煤，其精煤回收率提升5%—10%，灰分降低2%—4%。在连续生产条件下，分选设备负荷更趋平衡，分选精度与处理能力同步提高。分级破碎还改善了洗选介质的循环性能，降低了分选系统能耗，使设备磨损减轻、介质损失率下降。洗选效率的提升不仅体现在产量增长，更体现在煤质稳定性与产品结构优化上，为洗选厂实现高效节能运行提供了技术支撑。

3.3 典型案例与数据验证

在山西、陕西及内蒙古多家选煤厂的生产实践中，分级破碎工艺应用效果显著。以晋北某选煤厂为例，采用三级筛分与双辊差速破碎工艺后，入洗煤粒度控制在13~50mm范围内，灰分由27.8%降至24.3%，精煤回收率提升9.2%。系统电耗较改造前下降约14%，设备运转稳定性明显增强。另一煤矿在分级破碎系统中引入自动粒度监控与智能调速控制，破碎粒度偏差小于±3mm，使洗选精度提高，介质密度波动减小30%。浮

沉试验数据表明，分级破碎样煤的可选性曲线明显陡峭，分选密度界限更清晰，表明分离性能优化。现场运行结果进一步验证了该工艺能有效改善煤质指标，提高精煤产率，降低运行成本，展现出良好的工业应用前景与推广价值。

4 优化分级破碎工艺的关键技术路径

4.1 粒度分级界限的优化模型

粒度分级界限的设定是分级破碎工艺中至关重要的技术环节，其优化直接关系到后续分选效果与煤质的提高。传统上，粒度界限多依据经验值或简单的分级策略设定，缺乏对煤的物理特性及分选需求的精确匹配。近年来，基于煤的层理结构、硬度、脆性等特性，结合分选过程中的分离系数与洗选介质的特性，提出了基于粒度-密度模型的界限优化方法。通过对不同煤种的物理参数进行实验分析，采用回归分析、聚类算法等数学手段建立分级界限的优化模型。在此模型中，考虑了煤与矸石的物理差异、破碎效果、分选介质的流态等多个因素，能够动态调整粒度分布，以提高煤与矸石的分离效率。通过优化模型，可以精确预测不同破碎比下的最佳粒度范围，进一步提高分选的精度与效率。该优化模型也能根据实际生产的波动调整粒度界限，确保系统在不同工况下的稳定性与高效运行。

4.2 多级破碎协同控制技术

不同粒级的煤具有不同的破碎特性与分选需求，单一的破碎方式难以满足高效分选的要求。多级破碎系统通过分级筛分后，采用不同类型的破碎设备对各粒级进行专门处理，以达到最佳的破碎效果。在多级破碎中，粒度分布较大的煤块可先经过初级破碎，去除大块煤块并降低粗粒度比例；中粒级煤则通过中级破碎细化，进一步实现粒度的优化调整；细粒级部分则采用轻度破碎或直接进行分选。多级破碎协同控制技术通过集成多种破碎机型和先进控制策略，确保各级破碎设备间的无缝衔接和破碎效果的最大化。在实际操作中，该技术还可通过自动化控制系统进行实时监测与调整，动态调节破碎机的转速、辊隙等参数，以应对原煤物料组成的波动。通过协同控制，不仅可以避免过粉碎和破碎不足的现象，还能显著降低能耗，提高系统的稳定性。该技术的应用有效提升了分选环节的处理能力，减少了设备磨损，延长了设备使用寿命，并能在提高回收率的同时降低产品灰分和杂质含量。

4.3 分级破碎与智能选煤系统的耦合思路

分级破碎与智能选煤系统的耦合，作为先进煤炭洗选技术的重要发展方向，旨在实现破碎与分选过程的深度融合与优化。传统的选煤工艺大多独立处理破碎与分选两个环节，缺乏对整个洗选过程的系统性优化。智能选煤系统通过采集原煤的粒度、密度、湿度等数据，结合实时监控系统与大数据分析，能够动态调整分选和破碎的策略，实现破碎与分选过程的精准协同。在这一系统中，分级破碎的粒度控制参数与选煤机的密

度场调节参数能够通过闭环控制实时对接。分级破碎根据选煤系统的反馈信息，自动调整破碎比、转速、辊隙等参数，使煤块在进入分选环节前达到最佳粒度结构；选煤系统根据破碎后的粒度分布调整介质浓度与分选方式，确保分层效果的最大化。智能选煤系统能够不断分析选煤过程中的反馈信息，优化煤质检测与粒度控制，从而进一步提高煤炭洗选效率。该耦合技术不仅实现了生产过程中的自动化与智能化，还能根据实时数据调整策略，使系统始终处于高效运行状态，极大地提高了煤炭资源的回收率，降低了能源消耗，并确保了煤产品质量的稳定性。

5 工艺改进后的综合效益分析

5.1 洗选系统能效与经济性对比

通过优化破碎流程与粒度分布，分级破碎能够提高煤与矸石的分离效率，从而减少了后续分选阶段的能量消耗。与传统破碎方式相比，分级破碎不仅减少了不必要的粉碎，也降低了介质的消耗，使得选煤系统的总体能效得到了有效提升。洗选过程中的能源消耗与机械磨损显著降低，尤其是在大型选煤厂中，通过采用分级破碎技术，单位煤炭的处理能力得到了提升，而单位能耗则实现了下降。综合效益上，系统运作稳定性增强，洗选过程中能源浪费的现象得到有效抑制，保证了更为经济的操作成本。分级破碎所带来的精煤回收率提高与精煤灰分下降，进一步优化了煤炭的经济价值，提高了煤炭企业的利润空间。

5.2 煤质稳定性与产品结构优化

合理的粒度控制使得原煤在进入分选环节之前，煤块的物理特性得到了统一，避免了因粒度过大或过小带来的分选不均。分级破碎能够根据不同粒级煤的特点，采用不同的破碎方

式，从而使煤质更加均匀，减少了洗选过程中煤与矸石的混杂现象。通过提高粒度分布的均匀性，分选过程中介质的流态更加稳定，煤层与矸石的密度差异更加突出，进一步提升了分选效率和煤质。细粒煤的过度粉碎现象也得到控制，降低了细煤中的灰分含量，从而有效改善了产品结构。精煤的热值得以提高，灰分、硫分等有害成分得到了有效抑制，产品质量的稳定性得到了增强，为煤炭产品的市场竞争力提供了强有力的支持。

5.3 分级破碎在煤炭加工中的推广价值

通过精细化控制煤的粒度和破碎方式，分级破碎能够显著提高煤炭资源的回收率，降低煤矿的资源浪费。在现代煤炭加工中，原煤的复杂性和多样性要求技术手段更加灵活和高效。分级破碎技术正是应对这种挑战的有效方案，它能够针对不同煤种和物料特性优化破碎方案，提供定制化的破碎解决方案。这不仅帮助煤炭企业提高了资源利用率，还通过降低能耗和减少污染物排放，促进了绿色矿业的发展。随着煤炭行业对环保和资源利用效率的日益重视，分级破碎工艺将在更多煤炭加工领域中得到应用。特别是在资源贫乏和要求严格的市场环境下，分级破碎技术的应用前景广阔，它将在提高煤炭产业整体竞争力的过程中发挥重要作用。

6 结语

分级破碎工艺在煤炭洗选过程中的应用，不仅优化了煤的粒度分布，提高了煤质稳定性，也在能效与经济性方面带来了显著提升。通过精细化的粒度控制，能够最大限度地提升煤与矸石的分离效率，减少洗选过程中的能源消耗，降低生产成本。随着技术的不断进步，分级破碎工艺将在煤炭加工行业中发挥更大作用，为行业的高效、绿色发展提供强有力的支撑。

参考文献：

- [1] 王涛,张建华,李鹏.分级破碎工艺在煤炭洗选中的应用研究[J].煤炭工程,2023,45(6):112-118.
- [2] 陈浩,李刚,刘宇.分级破碎对煤炭洗选效率的提升作用[J].选煤技术,2022,39(4):52-58.
- [3] 高翔,邱瑞.基于分级破碎的煤炭洗选工艺优化[J].煤矿安全,2021,52(7):168-173.
- [4] 赵璐,王威.分级破碎工艺对煤炭资源利用的影响[J].矿业工程,2022,34(5):144-150.
- [5] 吴建华,黄志强.分级破碎与智能选煤系统耦合的研究进展[J].煤炭技术,2021,40(12):36-42.