

## ■ 煤炭洗选加工

### ★ 智能干选 ★

编者按: 为化解煤炭过剩产能, 实施煤炭供给侧改革势在必行。改革的目的是实现有效供给, 而提供市场所需的质优价廉的商品煤是其中的关键之一。经过 30 多年的发展, 我国主要选煤技术及其装备已居世界先进水平, 但适合低阶动力煤的洗选技术及其装备还有很大的发展潜力。近期, 继干法选煤之后的智能干选技术已崭露头角, 以其具有工艺简单、分选精度高等优势, 刚投入应用就得到一致好评。为推动我国选煤新技术的发展和应用, 本刊在本期“洗选加工”栏目开辟“智能干选”专栏, 邀请相关研发人员和在具体应用实践中的企业技术人员从不同角度撰写了一组智能干选领域的技术论文, 希望该专栏能为促进智能干选发挥积极作用。

# 动力煤全粒级智能干法选煤工艺

夏云凯<sup>1, 2</sup>, 李功民<sup>1, 2</sup>, 刘呈兵<sup>1, 2</sup>

(1. 唐山神州机械有限公司; 2. 河北省煤炭干法加工装备工程技术研究中心, 河北 唐山 063001)

**摘 要:** 分析了当前各种块煤智能干选工艺的技术特点, 并和 ZM 高效矿物分离机对小于 80 mm 块煤的分选效果进行了比较; 采用原煤分级, 大块煤智能分选, 中块煤、小块煤 ZM 分选机分选相结合等新工艺可以实现动力煤全粒级入选, 弥补普通干选工艺的局限性, 发挥不同粒级分选工艺的特长, 实现干法选煤厂的精煤产率最大化。

**关键词:** 干法选煤; 智能分选; 全粒级入选; ZM 分选机;  $\gamma$  射线分选; X 射线分选

**中图分类号:** TD945.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8397(2016)09-0009-04

大块动力煤一般作为民用和化工用煤, 动力煤分选过程中应尽量保留大块煤, 减少或避免块煤破碎。其原因: 一是大块煤价格比末煤高, 如果破碎, 会产生大量粉煤, 产品售价会降低; 二是大块煤破碎成混煤后增加了次生煤泥量, 混煤再水洗后又增加了动力煤产品水分, 降低了动力煤产品热值。

常规大块煤机械分选方法有人工手选, 浅槽重介排矸, 动筛排矸等。重介浅槽刮板分选机主要用于大于 13 mm 块煤的分选, 其主要缺点有: 一是系统相对复杂, 生产成本低; 二是受使用磁铁矿介质的性质限制, 分选密度上限低, 对密度  $1.8 \sim 2.2 \text{ g/cm}^3$  之间的中煤产品不能有效回收; 三是维修量大, 运营成本高。动筛跳汰机分选的

缺点是要要求入料必须均匀, 否则会造成矸石中带精煤, 矸石带煤率有时达到 20%; 而且因为筛板运动造成介质紊流会引起分选介质密度波动, 所以动筛分选精度低于重介浅槽分选机。为减少这种密度波动对分选过程的不利影响, 通常要求入料粒度下限高达 50 mm。

普通复合式干选排矸的分选数量效率为 90% 以上, 有效分选粒级 100 ~ 3 mm, 可能偏差  $E_p = 0.15 \sim 0.25 \text{ kg/L}$ ; 与跳汰排矸相差不大, 但投资和生产成本却比后者低很多, 最大优势是不用水, 省去了选煤厂投资和生产成本中占很大比例的煤泥水系统。目前最大复合干选机入料上限为 100 mm, 受分选机理和设备大型化限制, 对大于 100 mm 块煤不能风选处理。

收稿日期: 2016-08-23 DOI: 10.16200/j.cnki.11-2627/td.2016.09.003

作者简介: 夏云凯(1966—), 男, 江苏海安人, 2004 年毕业于美国费吉尼亚大学采矿工程专业, 工学博士, 唐山神州机械有限公司总工程师, 高级工程师。

引用格式: 夏云凯, 李功民, 刘呈兵. 动力煤全粒级智能干法选煤工艺 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2016(9): 9-12.

为替代劳动强度高的人工拣矸，近年国内外开始大力开发大块煤智能分选，一般可对 300 ~ 50 mm 粒级物料进行分选。如何将智能分选和传统干选工艺优化组合是亟需解决的问题。

## 1 大块智能分选技术

常见的块煤分选方法按分选机理可分为： $\gamma$  射线识别<sup>[1-7]</sup>，X 射线识别<sup>[8-11]</sup>，色差智能识别分选系统<sup>[12]</sup>等 3 种(见表 1)。

$\gamma$  射线干选机：根据  $\gamma$  射线穿过不同物质时

衰减不同的原理，设计了煤矸石分选系统。该系统由给料系统、检测系统、决策系统和执行系统构成。通过  $\gamma$  射线强度的探测装置，用计算机进行数据处理和识别，最后执行系统对煤矸石进行分选。双能  $\gamma$  射线选矸设备具有体积小，选矸效率高、能耗低的优点，但由于要使用放射源，对防辐射有严格要求，辐射源材料管理困难，同时分选小块 20 ~ 80 mm 时精度差，系统投资较高。另外， $\gamma$  射线需要采用高压电源，在井下应用比较困难。

表 1 块煤分选方法汇总

公司/机构简称	国家	机型	探测源/手段	入料粒级/mm	分选精度
唐山神州	中国	ZM	干选	0 ~ 100	矸石带煤率 < 5%
唐山神州	中国	ZFG	色差识别	100 ~ 300	矸石带煤率 < 2%
ARDEE HI TECH	印度	RAMDARS	$\gamma$ 射线	50 ~ 200	矸石带煤率 < 5%
ARDEE HI TECH	印度	ARDEESORT	X 射线	30 ~ 50	矸石带煤率 < 20%
All Mineral	德国	Alljig	空气跳汰	1 ~ 150	50 ~ 0 mm, $E_p = 0.16 \sim 0.27$ ; 分选密度 2.0 g/cm <sup>3</sup> 左右
TOMRA	德国	XRT	X 射线	30 ~ 100	矸石带煤率: 难选煤 10% ~ 20%, 易选煤 5% ~ 10%; $E_p = 0.145$ ; 分选密度 1.9 g/cm <sup>3</sup>
STEINERT	澳大利亚	XSS - T	X 射线	25 ~ 100	
BORUN	中国		X 射线	30 ~ 100	煤中含矸 15% 左右, 矸中带煤 6% 左右
大地	中国	TDS	X 射线		
聚龙融智	中国	GDRT	$\gamma$ 射线	80 ~ 200	矸石带煤率 < 2%
CUMT	中国		3D 激光扫描 + 称重		

X 射线分选方法是基于 X 射线穿透不同密度矿物其衰减程度不同这一原理而设计的，通过 X 射线源对胶带输送机上的煤和矸石进行透射，由探测器和采集板采集和转换衰减后的射线信号，并进行成像处理和矿物识别。整个分选控制系统由检测部分、识别部分和分选部分组成。分选部分设计控制终端与压缩空气阀之间的连接和控制，实现矸石或煤块的击打操作。

$\gamma$  射线和 X 射线穿透能力有限，如射线在煤块穿透方向上的厚度不能大于 50 mm，由于小粒度矸石的透过强度有可能与某一厚度煤块的透过强度相混，因此  $\gamma$  射线和 X 射线分选的粒度下限一般为 50 mm。如入料下限小于 50 mm，易造成矸石和煤块混淆，导致分选精度差，矸石带煤损失大。

煤矸石色差分选机是一种利用光学原理对煤矸石进行分选的机器。光学分选是选煤、选矸行

业中的一种新型选矿模式。该方法的原理是：分选系统在初始化之后，由图像采集系统实时提取原始图像，图像采集的控制由主控计算机完成，采集到的原始图像信息送入图像处理系统，对图像进行增强、滤波、分割和特征提取。将处理结果传送到主控计算机，主控计算机将特征信息送入识别系统进行识别，识别系统将识别结果传送到主控计算机上，主控计算机按照识别出来的类型调用相应的模型，比较、计算、送出不同的信号给执行系统运行。该分选机主要是利用光学色差，由高清摄像头分析矿石的不同性号，再由高频电磁阀剔除出不需要的颜色，从而获得单一颜色的成品，提高纯度。该分选方法的主要优势在于：环保性高、产量大、投资成本低等。但图像识别法和光学识别法都着眼于通过观察煤和矸石的表面特征来识别，而在实际应用中，煤和矸石表面色差不明显，或煤块表面经常被煤粉包裹，

因此在表面特征非常不明显时分选效率降低。

虽然有研究者采用 3D 激光扫描计算体积加称重的方法来进行煤与矸石的识别<sup>[12]</sup>, 但距离工业化应用还有很大差距, 需要复杂的图像处理能力。干法跳汰机分选精度差<sup>[13, 14]</sup>, 同时单个工业化模块最大处理能力只有 100 t/h, 矸石含量大时跳汰机排料困难, 维修量大。

## 2 ZM 分选机

ZM 矿物高效分离机采用阶梯式分离原理, 每个阶梯区间内物料流化分层, 同时增加击振力, 加强物料按密度分层效果, 低密度物料最先越过溢流堰被排出, 剩余物料进入下一个阶梯区间再次进行分选, 直至分选完毕, 排出重矿物。

ZM 矿物高效分离机工艺简单, 要求原料煤最大入料粒度控制在 100 mm 以下, 同时辅助配套上料及产品转运设备即可进行正常生产。系统采用落料点密封、喷雾降尘和引风除尘联合降尘、除尘工艺, 粉尘无外溢, 对环境无污染, 除尘器回收的煤粉可以单独排放, 降低了对环境的影响。

ZM 矿物高效分离机的优点:

- (1) 模块化设计, 组装投产快, 目前在国内广泛应用;
- (2) 选煤不用水, 适合新疆等干旱地区使用, 节省大量水资源;
- (3) 设备占地面积小, 工艺简单;
- (4) 高效环保;
- (5) 分选效率高: 普通复合式干选排矸的分选数量效率 90% 以上, 有效分选粒级 100 ~ 3 mm, 可能偏差  $E_p = 0.15 \sim 0.25$  kg/L; 分选 100 ~ 13 mm 块煤时数量效率为 95% 以上, 可能偏差  $E_p = 0.10 \sim 0.18$  kg/L; 分选 13 ~ 1 mm 末煤时数量效率为 90% 以上, 可能偏差  $E_p = 0.18 \sim 0.30$  kg/L;
- (6) 智能化控制, 省去大量人为操作, 操作管理方便、简洁, 事故概率低;
- (7) 安全可靠: ZM 矿物高效分离机采用集成模块化组装, 主体设备全封闭, 并内置保温材料, 可保证设备运转不受天气的影响, 分选后产品煤水分较低, 可避免冬天冻车、冻仓事故的发生。

## 3 实际应用案例

以 X - 射线智能识别为例, 德国 TOMRA 矸石采用 XRT 型 X - 射线分离机对南非难选煤进行试验<sup>[9]</sup>, 结果见表 2。当原煤为难选煤, 入料粒度在 30 ~ 100 mm, 分选密度  $1.6 \sim 1.7$  t/m<sup>3</sup>,  $\pm 0.1$  临近密度物含量 17.3% ~ 39.7% 时, 矸石带煤率为 9.9% ~ 18.9%。因此当入料粒度小于 100 mm 时, X - 射线分离机分选精度较差。

表 2 使用德国 TOMRA 公司 XRT 型 X - 射线分离机处理南非难选块煤的分选效果

参数	煤样 A	煤样 B	煤样 C	煤样 D
入料灰分/%	31.2	43.0	33.8	27.7
分选密度/t · m <sup>-3</sup>	1.7	1.6	1.7	1.6
$\pm 0.1$ 含量/%	17.3	25.2	19.1	39.7
数量效率/%	79.2	63.1	78.1	66.1
煤种带矸/%	6.6	10.8	7.9	8.7
矸中带煤/%	12.6	9.9	10.5	18.9

当原煤为南非极易选动力煤, 分选密度设定为  $1.9$  t/m<sup>3</sup> 时, 分选精度  $E_p$  在  $0.1423 \sim 0.1478$  kg/L 范围内, 处理入料粒度为 20 ~ 30 mm 和 30 ~ 100 mm 时, 矸石带煤率在 4.8% ~ 7.7% 范围内。因此原煤可选性对 X - 射线分离机的分选精度有较大影响。

徐州矿务(集团)新疆天山矿业有限责任公司俄霍布拉克煤矿原煤中含有顶板冒落矸石和煤层夹矸。出井原煤中 80 ~ 20 mm 粒度级产率大, 易选, 但人工手选困难, 产量低, 质量不稳定。夹矸煤数量大, 人工难以识别和分拣。该矿采用唐山神州 ZM 分选机, 原煤经加工后产品分为 80 ~ 20 mm 块精煤和小于 20 mm 末煤及 80 ~ 20 mm 矸石。经检测, 20 ~ 80 mm 矸石平均带煤率为 0.36%, 精煤平均含矸率为 0.86%, 分选精度达到块煤水洗工艺水平。

## 4 全粒级分选流程

$\gamma$  射线识别。X 射线识别和色差智能识别等智能分选可用于大于 100 mm 的大块煤分选, 但对 100 ~ 13 mm 粒级的分选精度差, 在原煤难选时矸石带煤率较高, 精煤损失大。智能分选在入料粒度小, 特别是低于 50 或 30 mm 时, 单系统分选能力低, 投资大。ZM 分选机入料粒度范围

宽,可对 100 ~ 3 mm 原煤进行有效分选。在原煤粒度小于 100 mm,特别是小于 50 mm 时,在同等煤炭可选性条件下,ZM 分选精度高于智能分选。在原煤可选性为易选时可对小于 100 mm 的混煤入选。当原煤可选性为难选时,可对原煤进行分级,大于 13 mm 和小于 13 mm 的分别采用 ZM 块煤和末煤分选机,实现窄级别分选,可提高分选精度。建议动力煤全粒级分选流程如图 1 和图 2 所示。

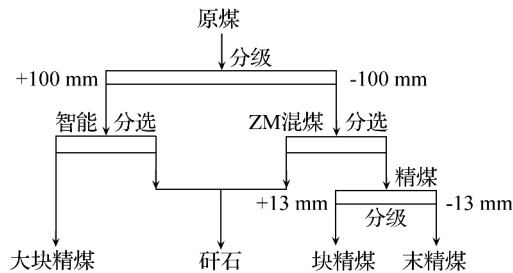


图1 动力煤全粒级  
(小于 100 mm 原煤混合入选) 干选流程

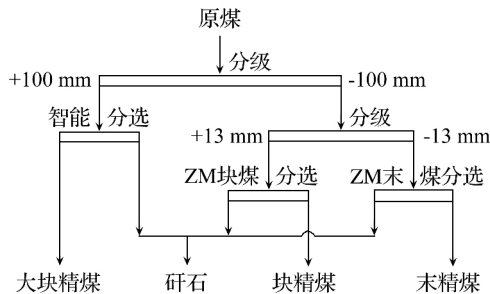


图2 动力煤全粒级  
(小于 100 mm 原煤分级入选) 干选流程

## 5 结 论

(1) 智能分选对大于 100 mm 的大块煤分选精度高,可替代人工手选。

(2) 智能分选对小于 100 mm 的块煤,特别是小于 50 mm 块煤分选精度差,原煤为难选煤时,矸石带煤率超过 10%,数量效率低于 80%。

(3) ZM 高效矿物分选机不能处理大于 100 mm 的大块煤,但对小于 100 mm 的块煤分选精度高于智能分选,并具有投资低、设备模块化、建设速度快等优点。

(4) 使用智能分选机和 ZM 分选机分别处理大于 100 mm 和小于 100 mm 块煤,可充分发挥

各自分选工艺的特长,实现动力煤全粒级干法分选和干法选煤厂精煤产率最大化。

## 参考文献

- [1] 张 朴,孔 力,黄心汉. 基于中、低能射线的 K 值判别法煤矸石在线识别仪的研究 [J]. 仪器与仪表, 1990 (3): 17-18, 25.
- [2] 韩成石,董长双,周西军,邢 伟. 煤和矸石  $\gamma$ -射线分选系统的研究 [J]. 山西矿业学院学报, 1997, 15 (2): 157-161.
- [3] 孔 力,李 红,徐恕宏,徐 琦. 双能  $\gamma$  射线透射法煤矸石在线识别与分选系统 [J]. 华中理工大学学报, 1997, 25(10): 107-108, 112.
- [4] 孔 力,李 红,徐 琦,徐恕宏. 基于双能  $\gamma$  射线的煤、矸石取悦分割识别方法 [J]. 华中理工大学学报, 1998, 26(1): 39-40, 62.
- [5] 赵维义,邹晚珍,李庆国. 煤矸石在线自动分选技术及其计数修正问题分析 [J]. 核电子学与探测技术, 1997, 17(2): 145-148.
- [6] 钟志平,孔 力,刘文中,袁树风. 煤矸石在线自动分选系统的识别原理 [J]. 煤炭科学技术, 2000, 28 (11): 27-29.
- [7] 程学珍,王 伟,卫阿盈. 煤与矸石在线分选系统设计 [J]. 工矿自动化, 2003, 39(8): 95-97.
- [8] Lütke von Ketelhodt. 通过双能量 X 射线投射对煤炭进行干法分选 [C]. 第 16 届国际选煤大会论文集: 中国煤炭加工利用协会, 2010: 305-311.
- [9] Christopher Robben, Johan de Korte, Hermann Wotruba, Mathilde Robben. Experience in dry coarse coal separation using X-ray-Transmission-based sorting [C]. Proceeding of 17th international coal preparation congress. Istanbul Turkey. 1-6 October, 2013: 321-326.
- [10] 袁华昕. 基于 X 射线图像的煤矸石智能分选控制系统研究 [D]. 东北大学, 2014: 9-21.
- [11] Kai Bartram, Johan van Zyl and Ezio Viti. Dual energy X-ray transmission sorting of coal for deshalting and ash content reduction [C]. Proceeding of 17th international coal preparation congress. Istanbul Turkey. 1-6 October, 2013: 327-332.
- [12] 张 晨. 煤矸光电密度识别及自动分选系统的研究 [D]. 中国矿业大学(北京), 2013: 15-71.
- [13] Richard Snoby, R. Q. Honaker, Richard Weinstein. Dry jigging coal: Advantages and Limitations [C]. 第 15 届国际选煤大会论文集. 中国矿业大学出版社, 2006: 519-523, 305-311.
- [14] Kip Alderman, Richard J Snoby and Heribert Breuer. Dry jigging of coal - 10 years allair technology - operational results and testwork data [C]. Proceeding of 17th international coal preparation congress. Istanbul Turkey. 1-6 October, 2013. 315-319.

**Considerations of excellence design in coal preparation plant**

ZHENG Jun-di *et al.*

(China Coal Xi'an Design Engineering Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710054, China)

**Abstract:** Through summarizing the work of selected the good design of coal preparation plant, and combined with China's coal quality characteristics and general market trends, the development trend of coal preparation methods were analyzed and evaluated, puts forward a new opinion about how to carry out innovative ideas on coal preparation plant, gives some suggestions on how to design excellence on coal preparation plant.

**Keywords:** coal preparation plant design; innovation optimization; cost efficiency

**The full grain size intelligent dry coal cleaning technology of thermal coal**

XIA Yun-kai *et al.*

(Tangshan Shenzhou Manufacturing Co., Ltd., Tangshan, Hebei 063001, China)

**Abstract:** This paper analysis the current technical characteristics of various intelligent dry separation technology, and compares with the ZM mineral separator on less than 80 mm lump separation; use of coal grade, large lump intelligent sorting, the lump, small lump ZM sorting machine sorting combined coal and other new technology can achieve full-size fraction selected to make up for the limitations of ordinary dry separation process, play a different size fractions separation process expertise to achieve dry coal preparation plant clean coal yield is maximized.

**Keywords:** dry coal cleaning; intelligent sorting; grade selected; ZM sorting machine; ray sorting; X-ray sorting

**Applications and developments of sensor-based sorting in mineral processing**

Gschaidner, H. J. and Huber, R.

(Binder+Co Machinery (Tianjin) Ltd., Tianjin 300070, China)

**Abstract:** With the help of special lighting systems and high-resolution cameras, the sensor-based MINEXX sorter recognizes the colour or alternatively the degree of whiteness of the respective minerals, their shapes and textures, or even their material-specific characteristics. These industrially operating sorters use VIS and NIR wavelength ranges based on the modified radiation caused by reflection or absorption.

**Keywords:** mineral processing; sensor; optical sorting; sorting principle

**The fluorine content and spatial distribution in Shaanxi's coal**

ZHANG Jing *et al.*

(Shaanxi Institute for Energy Quality Supervision & Inspection, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

**Abstract:** The six major coal-producing area in Shaanxi 64 coal mine sampling, analysis, Shaanxi coal fluorine content and its spatial distribution, the geometric mean of Shaanxi coal fluorine content of 84mg / kg, the highest value of the sample collected in Ankang Langao County (667 mg/kg), the minimum value of the sample collected in Jinjie (40 mg / kg); space Shaanxi coal fluorine content distribution is insignificant, the fluorine content in the southern region coal is higher than the northern region coal; divided according to age into the coal, the amount of fluorine in Shaanxi coal descending order southern Shaanxi Coalfield > Weibei Carboniferous-Permian coalfield > Carboniferous-Permian in northern Shaanxi Coalfield > Triassic in northern Shaanxi Coalfield > Huanglong Jurassic Coal > Jurassic Coalfield in northern Shaanxi.

**Keywords:** coal; fluorine; statistical analysis; spatial distribution; Shaanxi

**The research and development of lignite dehydration upgraded**

GUO Ya-mei *et al.*

(Hebei industry university Chemical Machinery Co., Ltd., Cangzhou, Hebei 061310, China)

**Abstract:** This paper introduces and analysis the widely used lignite drying and quality technology, This paper introduces and analysis the widely used lignite dehydration upgraded technology, that the lignite quality processing is the key to the effective use of lignite, some lignite drying upgrading technology is still in development stage, we should be in the traditional lignite drying upgraded technology based on the expansion of the development and application of new technologies, promote industrialization lignite drying technology upgrading as soon as possible.

**Keywords:** lignite; steam drying; microwave drying; solar drying; hot water drying; dehydration hot extrusion machinery

**Biological activated carbon and regeneration techniques in acrylic fibers wastewater**

LIU Jing

(Beijing Water Business Doctor Co., Ltd. Beijing 100088, China)

**Abstract:** The article introduce the application of Biological activated carbon treatment technology and activated carbon regenerate technology, here take acrylic-fibers waste water treatment project of Daqing Petrochemical Corporation for example, explain the biological activated carbon treatment technology and activated carbon regenerate technology on the aspect of principle, treatment process, parameter, effect and cost.

**Keywords:** biological activated carbon; acrylic-fibers waste water; activated carbon regenerate technology; non degradation organic; COD<sub>cr</sub>