

文章编号: 1001-3571 (2024) 06-0041-07

# XDF 型多级干选机的关键参数及其分选效果分析

杨志辉, 于 洋, 江 浩, 杨浩轩

(唐山神牛机械有限公司, 河北 唐山 063300)

**摘要:** 为有效提高 $<6\text{ mm}$ 细粒的干法分选效果, 开发了一种基于振动力和风力联合作用的 XDF 型多级干选机。文章介绍了其结构和工作原理, 并通过颗粒受力分析了该设备的关键参数, 包括床面倾角、振动频率、风量、给料量等。在蒙古国 MAK 公司 Naryn Sukhai 煤矿的应用实践表明: 该设备对 $5\sim 10\text{ mm}$ 粒级排矸率为 $86.4\%$ , 灰分由入料的 $19.53\%$ 降低到精煤的 $7.47\%$ ; 对 $1\sim 5\text{ mm}$ 粒级的排矸率达到 $80.2\%$ , 灰分由入料的 $17.13\%$ 降低到精煤的 $6.67\%$ , 即对整体及细粒级均分选效果良好。相比于普通复合式干选机不能生产灰分低于 $12.5\%$ 的精煤, XDF 型多级干选机不仅可生产灰分合格的精煤产品, 且精煤产率提高了约 7 个百分点, 具有分选密度低, 分选精度高, 无需生产中煤, 产品结构简单, 避免中煤回选等优点。此外, 与传统复合式干选机相比, 该设备还具有有效分选粒度范围宽, 排矸量大、排矸迅速, 循环风流含尘浓度低等优势。XDF 型多级干选机的成功开发, 可有效弥补现有风力干选设备的不足, 促进干法分选在 $<6\text{ mm}$ 细粒级中的应用。

**关键词:** 干法分选; 末煤干选; 多级干选机; 排矸率

**中图分类号:** TD942

**文献标志码:** B

## Analysis of key parameters and performance of XDF multi-stage dry separator

YANG Zhihui, YU Yang, JIANG Hao, YANG Haoxuan

(Tangshan Shenniu Machinery Co. Ltd., Tangshan 063300, China)

**Abstract:** In order to obtain an improved result in dry cleaning of the  $<6\text{ mm}$  coal, the XDF multi-stage dry separator that works under the combined effect of vibrating force and air force is developed. Analysis on its structural design and working principle indicates that inclination angle of separating deck, vibration frequency, air quantity and feed rate are main operating parameters of the separator. Field application of the separator at Naryn Sukhai Coal Mine of Mongolia's MAK company shows that for treating a feed with a size of  $10\sim 5\text{ mm}$  and an ash content of  $19.53\%$ , the gangue removal rate is up to  $86.4\%$  and the ash of the clean coal is as low as  $7.47\%$  while in the instance of treating a feed with a size of  $5\sim 1\text{ mm}$  and an ash of  $17.13\%$ , the above-mentioned two figures change to  $80.2\%$  and  $6.67\%$ , respectively, well demonstrating the efficiency of the separator in separation of small coal, in the abovegoing instances, the use of conventional compound dry separator cannot produce the up-to-standard clean coal product with an ash of less than  $12.5\%$ , while the use of the XDF separator, the yield of clean coal is 7 percentage points higher as well; the XDF separator can work with a lower separation density and a much higher separation sharpness and no middling product is produced in its separation process. Its other attractions include simpler product structure, elimination of middling recleaning process, wider separation size range, larger and faster waste removal capacity, and lower density of dust in circulating airflow, as compared with the conventional compound separator. The successful development of XDF multi-stage dry separator can effectively make up the deficiencies of the pneumatic separators currently available, and promote the use of dry method for cleaning  $<6\text{ mm}$  small coal.

收稿日期: 2024-09-18 责任编辑: 邓明瑞 DOI: 10.16447/j.cnki.cpt.2024.06.007

作者简介: 杨志辉 (1983—), 男, 河北唐山人, 工程师, 从事多级风力设备研发工作。E-mail: tangshanshenniu@163.com, Tel: 15131523454。

引用格式: 杨志辉, 于 洋, 江 浩, 等. XDF 型多级干选机的关键参数及其分选效果分析[J]. 选煤技术, 2024, 52(6): 41–47.

YANG Zhihui, YU Yang, JIANG Hao, et al. Analysis of key parameters and performance of XDF multi-stage dry separator[J]. Coal Preparation Technology, 2024, 52(6): 41–47.

**Keywords:** dry cleaning; dry cleaning of small coal; multi-stage dry cleaning separator; gangue removal rate

煤炭是全世界的重要化石能源之一,具有多重用途,但大多作动力煤使用,且因原煤品质普遍较差,使用前须分选提质。动力煤分选方法按过程是否用水,分为干法分选和湿法分选两类。其中干法分选的精度往往低于湿法分选,但由于干选过程具有不耗水,精煤水分低,投资和运营成本低等优势,干选工艺仍在动力煤分选领域占据一席之地。相应地许多国家正在持续开展干选设备的研究,尤其是分选难度更高的细粒级干选愈加受到广大从业人员的重视。目前, < 50 mm 的混煤风力分选设备的部分型号成功实现了工业化,如中国的 FGX 干选机、ZM 干选机、TGS 梯流干选机、TFX 干选机,俄罗斯的 Sepair 干选机,韩国的 KAT 干选机,德国的 Allair 干选机、Akaflow 干选机等<sup>[1-7]</sup>。其中, Allair 干选机为跳汰式干选机,通过脉动气流和床面振动使物料分层;该型设备有效分选粒度范围为 6 ~ 80 mm,分选密度在 1.8 ~ 2.2 g/cm<sup>3</sup> 范围内,有效分选粒度比为 2 : 1 ~ 4 : 1。目前, Allair 干选机已在印度和美国成果进行了工业化应用,但该设备要求原煤表水低 (< 6%)、松散度高,且仅限于“黑白分明”的易选煤的分选处理<sup>[8-9]</sup>。

除风力跳汰外,目前应用较普遍和工业化较成功的干选设备类型主要为利用恒速鼓风气流+床面周期往复振动的复合作用力使煤和矸石基于密度差进行分选的复合式干选机(如 FGX 型、ZM 型等)。这些设备使煤和矸石混合物在床面形成一定厚度的、按密度分层的料层,其中高密度物料沉入床面底部,在周期性激振力作用下向上爬坡,低密度物位于床面上部,在重力作用下流向排料口,轻重颗粒运动方向相反,从而实现分离。目前, FGX 型复合式干选机的有效分选粒度范围为 80 ~ 6 mm,对 < 6 mm 粒级的分选效果有限<sup>[10-11]</sup>,这也限制了其应用范围。因此国内一些设备制造厂家和研究机构也在积极开发新型的末煤干选机。例如:鲜国淋等<sup>[12]</sup>采用高压气流和特制的细孔矩形床面开发了一种 SID-F 末煤干选中试系统,完成了 10 ~ 0 mm 粒级的西伯利亚无烟煤末煤干法分选试验,分选粒度下限达到 3 mm;夏云凯等<sup>[13]</sup>采用 JZM 型阶梯床面末煤干选机分选了易选炼焦煤, > 3 mm 粒级的排矸率达到 65% 以上;淮北矿业集团采用 TGS 型智能梯流干选机分选 50 ~ 13 mm 粒级的炼焦煤,精煤灰分在 20% 以下,矸石带煤率在 1.5% 以下,排矸率在 90% 以上<sup>[14]</sup>;杨秀红<sup>[15]</sup>推荐了一种使用 CFX

型差动块煤风选机和 TFX 型干法末煤跳汰机分别处理 75 ~ 13 mm 块煤和 < 13 mm 末煤的分级干选流程。

上述新研发的设备虽然将有效分选粒度下限由 6 mm 降低到 3 mm,但对 6 ~ 3 mm 粒级的分选作用仍较微弱,同时还存在吨煤电耗高,环保效果不尽人意等问题。而现代采煤机械化的发展导致原煤粒度越来越细,原煤中 < 6 mm 含量达到 40% 也不罕见。因此亟需研发一种能够有效分选 < 6 mm 细粒的干法分选设备,同时做到能耗低,环保效果好,以弥补现有风力干选设备的不足。

## 1 XDF 型多级干选机的原理及系统构成

XDF 型多级干选机的核心为三级矩形分选床面,三级床面交叠布置,单级床面为单一方向倾斜的多孔振动床面,床面纵向倾角为 5° ~ 10°。单级床面的分选原理如图 1 所示。

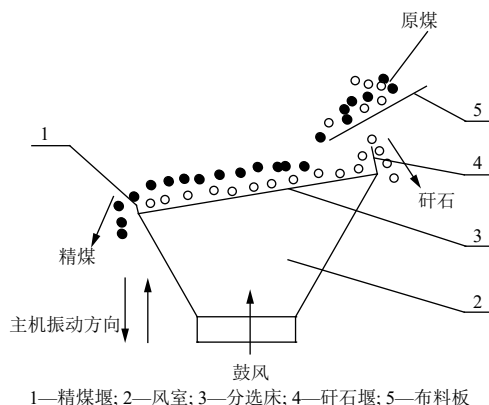
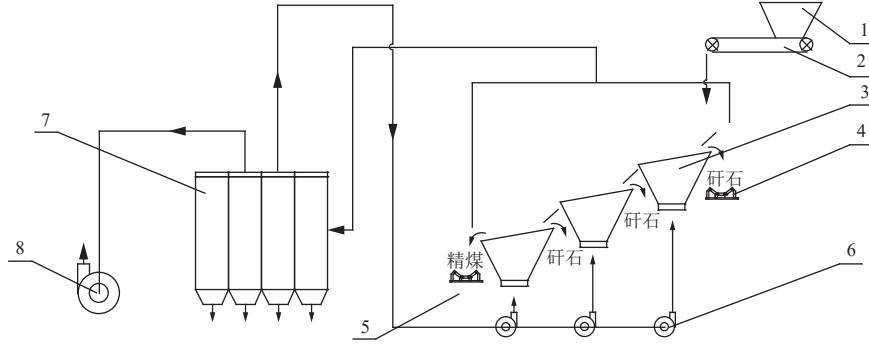


图 1 XDF 型多级干选机中单级床面的分选原理

Fig. 1 Illustration of the separation deck of one stage showing working principle of XDF separator

工作时,激振器对分选床施加周期性振动,振动频率为 800 ~ 1 000 r/min,振幅 4 ~ 10 mm。各单级床面给料后,在通过布风板的上升气流及床面激振力的作用下,原先紧密堆积的轻重颗粒交换位置,重颗粒倾向于移动到床层底部,轻颗粒难以穿透床层,在风力作用和周边重颗粒推挤作用下移动到床层顶部,最终形成一个按密度分层的床层;而后下沉至床面的矸石层,在床面激振力作用下克服摩擦力贴向床面向床面上端搬运由矸石堰排出,而较轻的精煤颗粒则在重力和上升气流作用下翻越床层底部溢流堰排出作为精煤排出。

以 XDF 型多级干选机为核心的分选系统组成则如图 2 所示。



1—原煤仓; 2—带式给煤机; 3—主选机; 4—矸石带式输送机; 5—精煤带式输送机; 6—主风机; 7—脉冲布袋除尘系统; 8—引风机

图 2 XDF 型多级干选机分选系统组成

Fig. 2 Make-up of the XDF separator

图 2 显示: 末原煤首先进入原煤仓储存, 再通过给料机稳定输送到原煤带式输送机, 并由其将入料给入 XDF 型多级末煤干选机内进行多次分选。该设备共包括三级床面, 一级床面主要排出  $>25\text{ mm}$  矸石和部分  $<25\text{ mm}$  矸石, 二级床面排出  $25\sim 6\text{ mm}$  矸石和部分  $<6\text{ mm}$  矸石, 三级床面主要排出  $<6\text{ mm}$  矸石。分选出的矸石和精煤分别进入矸石、精煤带式输送机, 干选过程中产生的煤粉主要由脉冲袋式除尘器收集后掺入精煤, 分选床鼓风来自于袋式除尘器过滤后的循环气流。

## 2 颗粒受力分析及主要操作参数

### 2.1 床面上颗粒受力分析

通过对床面上煤粒进行受力分析, 可有效判断分选设备各参数的作用方式和作用程度。

首先, 矸石颗粒密度高, 贴近床面, 位于床层底部。相应床层底部颗粒的受力分析如图 3 所示。

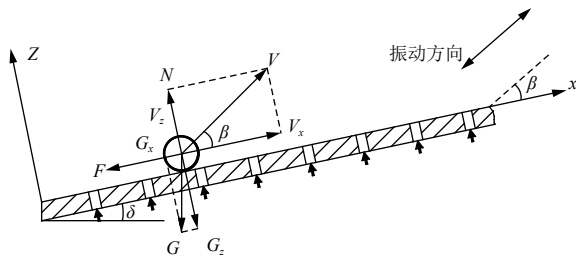


图 3 床层底部颗粒的受力分析

Fig. 3 Analysis of the force acting on a particle at the bottom of the coal bed

图 3 中:  $G$  为颗粒自身重力,  $V$  为床面传导的振动惯性力,  $N$  为气流曳力,  $F$  为床面摩擦力;  $G_x$  和  $V_x$  分别为相应力在  $x$  轴方向的分力,  $G_z$  和  $V_z$  分别为相应力在  $z$  轴方向的分力, 各力的单位均为  $\text{N}$ ;  $\beta$  为床面振动方向角, 即床体振动方向与分选床面的夹角;  $\delta$  为分选床面倾角 (基准为水平面), 角

度单位均为  $(^\circ)$ 。

在振动电机作用下, 床面沿振动方向的位移可用下式表示:

$$S = \lambda \sin \omega t, \quad (1)$$

式中:  $S$  为分选床面沿振动方向的位移,  $\text{m}$ ;  $\lambda$  为工作面沿振动方向的单振幅,  $\text{m}$ ;  $\omega$  为振动圆频率,  $\text{s}^{-1}$ ;  $t$  为振动时间,  $\text{s}$ 。

颗粒的质量 ( $m$ ) 为:

$$m = \frac{\pi}{6} d^3 \rho_s; \quad (2)$$

床面作用于颗粒的周期振动力 ( $V$ ) 为:

$$V = -m\omega^2 \lambda \sin \omega t; \quad (3)$$

床层底部颗粒沿  $x$  轴正方向的运动方程为:

$$m \frac{dv_x}{dt} = V_x - G_x - F_x = V \cos \beta - G \sin \delta - (G_z - N - V_z) f. \quad (4)$$

将式 (2) 和式 (3) 代入式 (4) 可得:

$$\frac{dv_x}{dt} = -\omega^2 \lambda \sin \omega t \cos \beta - g \sin \delta - \left[ g \cos \delta - \frac{6\pi j v_{\text{air}}^2 \rho}{\pi d \rho_s} + \omega^2 \lambda \sin \omega t \sin \beta \right] f, \quad (5)$$

式 (2) — 式 (5) 中:  $m$  为颗粒物的质量,  $\text{kg}$ ;  $d$  为颗粒物料的当量直径,  $\text{m}$ ;  $\rho_s$  为颗粒物料的密度,  $\text{kg/m}^3$ ;  $v$  为颗粒的运动速度,  $v_x$  为颗粒运动在  $x$  轴方向的分速度,  $\text{m/s}$ ;  $j$  为阻力系数;  $v_{\text{air}}$  为气流速度,  $\text{m/s}$ ;  $g$  为重力加速度,  $\text{m/s}^2$ ;  $\rho$  为空气密度,  $\text{kg/m}^3$ ;  $f$  为颗粒物料的动摩擦系数。

对于精煤颗粒, 其密度低, 往往位于床层上部。相应床层上部颗粒的受力分析如图 4 所示。

如图 4 所示, 受气流拖曳力影响, 低密度精煤移动到料层上部, 受振动力作用较小, 主要在重力作用下向  $x$  轴反方向运动, 其运动方程如下:

$$m \frac{dv_x}{dt} = G_x - kV_x - k_1 F_x = G \sin \delta - kV \cos \beta - k_1 (G_z - W - kV_z) f = mg \sin \delta + km\omega^2 \lambda \sin \omega t \cos \beta - \quad (6)$$

$$k_1 [mg \cos \delta - j d^2 v_{\text{air}}^2 \rho + km\omega^2 \lambda \sin \omega t \sin \beta] f,$$

式中:  $k$ ,  $k_1$  分别为力 ( $V$ ) 和力 ( $F$ ) 的修正系数, 且颗粒距离床面越远, 二者值越小。式 (6) 经换算可得:

$$\frac{dv_x}{dt} = g \sin \delta + k\omega^2 \lambda \sin \omega t \cos \beta - k_1 \left[ g \cos \delta - \frac{6\pi j v_{\text{air}}^2 \rho}{\pi d \rho_s} + k\omega^2 \lambda \sin \omega t \sin \beta \right] f. \quad (7)$$

使用式 (5) 和式 (7) 即可分别计算床层底部和床层上部颗粒的运动速度和运动轨迹。由颗粒受力分析可知, 轻、重颗粒的运动速度和方向与其自身密度、粒度, 床面倾角, 气流速度, 振动频率, 振幅, 振动方向角, 摩擦系数以及颗粒在料层的高度等密切相关, 只要操作参数选择合适, 床层底部高密度颗粒和床层上部低密度颗粒运动速度和运动方向就会不同, 从而给轻重颗粒分离创造了条件。

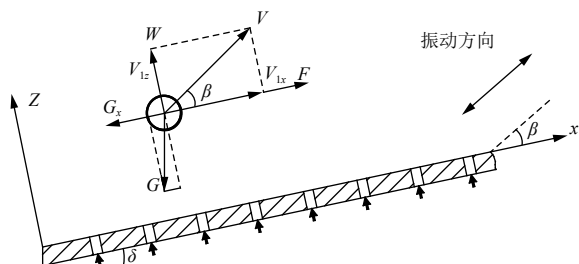


图 4 床层上部颗粒的受力分析

Fig. 4 Analysis of the force acting on a particle at the top of the coal bed

## 2.2 主要操作参数

分选效果与原料自身物理参数 (粒度、密度、动摩擦角等) 以及干选机主要操作参数 (如床面倾角、风量、激振力、给料量等) 密切相关。通过调整风量、床面倾角、振动电机激振力等各项参数, 可使各粒级物料接近理想工况按密度分层。

### 2.2.1 床面倾角

传统复合式干选机采用梯形床面, 需要调整纵向和横向两个方向角度; 而 XDF 型多级干选机采用矩形床面, 只需调整一个方向角度——横向倾角。床面横向倾角是指床面从精煤排料端 (低端) 到矸石排料端 (高端) 方向的床面与水平面的夹角。在床面倾角和激振力共同作用下, 床面呈一定倾角有助于轻、重颗粒的分层, 增加床面倾角可增加颗粒运动速度, 且轻颗粒一般速度高于重颗粒。床面

倾角过低时, 在激振力作用下矸石和精煤均会向矸石排料端运动, 继续增加倾角到一定数值并在风力作用下, 轻、重颗粒才开始向相反运动方向运动; 轻重颗粒在床面  $x$  轴方向的速度差决定了床层按密度的分离速度, 倾角过大, 虽然精煤产率高, 但部分矸石会混入精煤, 增加精煤灰分。然而精煤灰分还取决于其他重要的操作参数, 在满足精煤灰分要求的同时, 可通过调整床面倾角以达到最高的精煤产率。床面倾角还可以用于调节排矸量及处理量: 原煤中矸石含量少、粉煤含量多时, 可适当加大床面倾角; 原煤中矸石量多时, 则需适当降低倾角, 以便于矸石快排。床面倾角调节范围一般为  $6^\circ \sim 10^\circ$ 。

### 2.2.2 振动频率

振动电机对床面及其上物料施加周期性激振力, 与床面倾角一样是决定分选效果的重要因素。由力学分析可知, 振动频率增加, 激振力按照频率的平方增加。激振力增加, 振幅增加, 更多颗粒可以具备爬坡能力, 但易造成颗粒混杂和错配率增加。试验观察表明, 床面倾角较大时, 振动频率影响变弱。振动频率和床面倾角应联合调整, 而不是单独调整。

### 2.2.3 风量

风力的作用一是使床层物料松散有利于矿粒按密度分层, 二是使床层流动性好, 有利于提高干选机的处理能力。由于干选机入料粒度范围一般为  $80 \sim 0$  mm 或  $50 \sim 0$  mm, 粒度范围较宽, 各种不同密度和粒度的颗粒在气流中粘滞阻力不同, 流化速度不同: 气流速度过大, 虽然  $80 \sim 13$  mm 粒级分选效果较好, 但  $< 6$  mm 颗粒基本被吹起, 难以得到有效分选; 气流速度较低, 有利于  $< 6$  mm 颗粒分选, 但  $> 6$  mm 颗粒松散效果差, 不利于块煤分选。

XDF 多级干选机采用三级床面分选 (图 2), 每台床面配置一布风室, 对应一台风机。每一级床面通过风机变频控制气流速度, 使得不同粒级物料按照各自工况条件分选, 各级床面排出的矸石粒度大小不同: 第一级分选床排出较大粒度的矸石, 第二级分选床排出中等粒度的矸石, 第三级分选床排出小粒度的矸石。当分选粒度范围在  $25 \sim 0$  mm 或  $13 \sim 0$  mm 的末煤或含细粒多的混煤时, 整体风量应适当减小, 以避免风量过大产生泉涌扰乱床层; 当分选  $> 25$  mm 块煤或煤矸石、劣质煤时, 整体风量应加大。调整后最佳风量应使床面上物料松散、流动性好, 选后煤中不带矸, 且矸石带煤很少。

2.2.4 给料量

给料量用给料机控制,一般入选混煤时设备单位分选面积处理量为 $8\sim 10\text{ t/m}^2$ 。处理量受原煤粒度、水分、含矸量影响。给料量较低有利于保证分选效果,过高则会增加精煤灰分。处理能力与其他操作参数(倾角、风量和振动频率)也密切相关。

2.2.5 矸石门

传统 FGX 型复合式干选机采用梯形床面,床面长度和宽度比例大,矸石需要沿着背板长距离移动然后折向矸石排料口。而 XDF 型多级分选机的床面为矩形床面,矸石从给料端至排料口距离短,排料速度快。此外,每一级床面的矸石端排料口均设置可机械调节排料口大小的矸石门,在入选原煤含矸量较低时,可部分关闭矸石门减少矸石排放量,用以保证在床面上形成矸石带;当矸石产品带煤时,配合床面倾角调节和风量调节,适当关闭矸石门,可保证矸石产品质量稳定;在入选原煤含矸量较高时,可减低排料堰高度,最大程度增加矸石排放量,提高设备处理能力。

3 应用案例

蒙古国之金公司(MAK 公司)Naryn Sukhait 选煤厂位于蒙古国南戈壁省,是一座处理能力为 $1\text{ Mt/a}$ 的炼焦煤选煤厂,主要入选 Naryn Sukhait 露天煤矿原煤。该矿储量约 $17\text{ 亿 t}$ ,可采煤层较多,灰分波动大,个别煤层的部分表层煤为风化煤,天然疏水性差,同时大部分煤层泥化现象较为严重,

难以生产低灰精煤,因此仅部分原煤直接排矸后作为动力煤销售。选煤厂曾采用过我国生产的 FGX-12 型复合式干选机,原煤灰分为 $25\%$ 左右,要求精煤灰分低于 $12\%$ ,矸石灰分不低于 $65\%$ ;但因该机型对 $<6\text{ mm}$  粒级物料分选作用微弱,往往精煤灰分偏高。为降低分选下限、保证分选效果,该选煤厂采用一套 XDF-10 型多级干选机进行了工业性试验,并重点检测了 $5\sim 10\text{ mm}$  和 $1\sim 5\text{ mm}$  粒级的排矸降灰效果。

3.1 原煤可选性

试验用煤样中的 $25\sim 1\text{ mm}$  粒级的筛分试验结果、浮沉试验结果见表 1—表 3。

由表 1—表 3 可知:煤样灰分为 $24\%$ ,属中灰煤;主导密度级为 $<1.6\text{ g/cm}^3$ , $1.6\sim 1.8\text{ g/cm}^3$  中间密度物产率 $<10\%$ ,低密度分选时原煤可选性等级为难选或极难选,高密度( $>1.6\text{ g/cm}^3$ )分选时为易选;分选密度为 $2.0\text{ g/cm}^3$  时,浮物累计灰分为 $9.58\%$ ,因此煤样可采用高密度排矸,但考虑到传统干选机一般对 $<3\text{ mm}$  粒级分选效果较差,因此 $>3\text{ mm}$  粒级实际分选密度需低于 $2.0\text{ g/cm}^3$  才可能得到合格精煤。

表 1 煤样中 $25\sim 1\text{ mm}$  粒级筛分试验结果  
Table 1 Screen analysis of the test sample  $25\sim 1\text{ mm}$  size fraction

| 粒级/mm      | 产率/%   | 灰分/%  |
|------------|--------|-------|
| $>10$      | 45.50  | 31.42 |
| $10\sim 5$ | 11.00  | 19.72 |
| $5\sim 1$  | 43.50  | 17.32 |
| 合计         | 100.00 | 24.00 |

表 2 煤样中 $25\sim 1\text{ mm}$  粒级筛分浮沉试验结果  
Table 2  $25\sim 1\text{ mm}$  coal float-and-sink analysis data

| 密度级/ $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$ | $>10\text{ mm}$ |       | $10\sim 5\text{ mm}$ |       | $5\sim 1\text{ mm}$ |       |
|--------------------------------------|-----------------|-------|----------------------|-------|---------------------|-------|
|                                      | 占本级产率           | 灰分    | 占本级产率                | 灰分    | 占本级产率               | 灰分    |
| $<1.3$                               | 21.42           | 3.50  | 39.48                | 4.00  | 42.52               | 4.10  |
| $1.3\sim 1.4$                        | 32.60           | 6.81  | 29.80                | 7.67  | 31.34               | 7.54  |
| $1.4\sim 1.5$                        | 8.50            | 16.53 | 6.80                 | 15.90 | 6.38                | 15.86 |
| $1.5\sim 1.6$                        | 3.78            | 28.05 | 2.73                 | 24.15 | 2.21                | 23.04 |
| $1.6\sim 1.7$                        | 1.42            | 41.64 | 1.31                 | 30.65 | 0.78                | 30.45 |
| $1.7\sim 1.8$                        | 1.10            | 46.36 | 1.05                 | 37.24 | 0.52                | 30.95 |
| $1.8\sim 1.9$                        | 2.20            | 57.82 | 1.18                 | 40.23 | 0.52                | 42.78 |
| $1.9\sim 2.0$                        | 1.26            | 62.64 | 1.05                 | 45.30 | 0.65                | 45.76 |
| $>2.0$                               | 27.72           | 82.33 | 16.60                | 74.55 | 15.08               | 71.45 |
| 合计                                   | 100.00          | 31.42 | 100.00               | 19.72 | 100.00              | 17.32 |

表 3 煤样中 25 ~ 1 mm 粒级整体浮沉试验结果及可选性分析

| Table 3 Cumulative yield and ash data of floats and sinks and washability of the 25 ~ 1 mm size fraction |        |       |        |       |        |       |                          |       | %     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------------|-------|-------|
| 密度级/(g·cm <sup>-3</sup> )                                                                                | 产率     | 灰分    | 浮物累计   |       | 沉物累计   |       | $\delta \pm 0.1$         |       | 可选性等级 |
|                                                                                                          |        |       | 产率     | 灰分    | 产率     | 灰分    | 密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 产率    |       |
| < 1.3                                                                                                    | 32.59  | 3.91  | 32.59  | 3.91  | 100.00 | 24.00 |                          |       |       |
| 1.3 ~ 1.4                                                                                                | 31.74  | 7.21  | 64.33  | 5.54  | 67.41  | 33.71 | 1.4                      | 39.13 | (极)难选 |
| 1.4 ~ 1.5                                                                                                | 7.39   | 16.21 | 71.72  | 6.64  | 35.67  | 57.30 | 1.5                      | 10.37 | 中等可选  |
| 1.5 ~ 1.6                                                                                                | 2.98   | 26.04 | 74.70  | 7.41  | 28.28  | 68.03 | 1.6                      | 4.11  | 易选    |
| 1.6 ~ 1.7                                                                                                | 1.13   | 36.88 | 75.83  | 7.85  | 25.30  | 72.98 | 1.7                      | 1.97  | 易选    |
| 1.7 ~ 1.8                                                                                                | 0.84   | 40.97 | 76.67  | 8.22  | 24.17  | 74.66 | 1.8                      | 2.20  | 易选    |
| 1.8 ~ 1.9                                                                                                | 1.36   | 53.63 | 78.03  | 9.01  | 23.33  | 75.88 | 1.9                      | 2.33  | 易选    |
| 1.9 ~ 2.0                                                                                                | 0.97   | 55.67 | 79.00  | 9.58  | 21.97  | 77.26 |                          |       |       |
| > 2.0                                                                                                    | 21.00  | 78.25 | 100.00 | 24.00 | 21.00  | 78.25 |                          |       |       |
| 合计                                                                                                       | 100.00 | 24.00 |        |       |        |       |                          |       |       |

3.2 干选试验结果

2021 年 4 月选煤厂使用 XDF 型多级干选机进行了< 25 mm 末煤的排矸工业试验。试验的目的是采用末煤干选工艺在保证精煤和矸石灰分的前提下,最大程度提高排矸率。试验采用一套以 XDF-10 型多级干选机为主机的小型干选生产系统,额定处理能力为 80 ~ 100 t/h。

干选机给料量为 80 t/h,生产稳定运行后取样

分析,干选产品平衡计算见表 4,> 1 mm 粒级的原煤和精煤分粒级质量对比见表 5。

表 4 干选产品平衡表

| Table 4 Balance sheet of dry cleaned products (by mass) |        |       |
|---------------------------------------------------------|--------|-------|
| 产品                                                      | 产率/%   | 灰分/%  |
| 精煤                                                      | 75.60  | 12.25 |
| 矸石                                                      | 24.40  | 63.27 |
| 合计                                                      | 100.00 | 24.70 |

表 5 > 1 mm 粒级的原煤和精煤分粒级质量对比

| Table 5 Comparison of quality indices of raw coal feed and clean coal products on a size by size basis |       |       |      |       |      |      |        |      | % |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|------|-------|------|------|--------|------|---|
| 粒级/mm                                                                                                  | 原煤    |       |      |       | 精煤   |      |        |      |   |
|                                                                                                        | 产率    | 灰分    | 矸石含量 | 占全级产率 | 灰分   | 矸石含量 | 可燃体回收率 | 排矸率  |   |
| > 10                                                                                                   | 43.50 | 31.23 | 30.9 | 31.06 | 9.92 | 1.7  | 93.5   | 98.3 |   |
| 10 ~ 5                                                                                                 | 11.00 | 19.53 | 18.6 | 8.16  | 7.47 | 3.4  | 85.3   | 86.4 |   |
| 5 ~ 1                                                                                                  | 21.90 | 17.13 | 16.0 | 14.78 | 6.67 | 4.7  | 76.0   | 80.2 |   |

除尘器煤粉占干选精煤比例约为 5%,灰分为 21.23%,除尘器煤粉掺入干选精煤后,由表 4 可知:干选精煤产率为 75.60%、灰分为 12.25%,相对原煤降灰约 12.5 个百分点;而矸石产率为 24.45%、灰分为 63.27%。

由表 5 可知:> 10 mm,10 ~ 5 mm 和 5 ~ 1 mm 三个粒级选后灰分分别降低了 21.31,12.06 和 10.46 个百分点;排矸率则分别达到 98.3%,86.4% 和 80.2%。总体而言,XDF 型多级干选机可以对细粒级进行有效的排矸分选,且即使分选下限下探至 1 mm,仍可获得良好的分选效果。

3.3 与普通复合式干选机的分选效果对比

3.3.1 具体效果对比

XDF-10 型多级干选机工业性试验成功后,矿方使用一台 FGX-12 型普通复合式干选机与之进行了时长一周的分选效果对比试验,结果见表 6。

表 6 FGX-12 型普通复合式干选机与 XDF-10 型多级干选机分选效果对比试验结果

| Table 6 Comparison of performances of FGX-12 conventional compound dry separator and XDF-10 multi-stage separator |          |       |        |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------|--------|-------|
| 产品                                                                                                                | 普通复合式干选机 |       | 多级干选机  |       |
|                                                                                                                   | 产率/%     | 灰分/%  | 产率/%   | 灰分/%  |
| 精煤                                                                                                                | 71.40    | 14.10 | 78.20  | 12.02 |
| 中煤                                                                                                                | 12.50    | 21.90 | —      |       |
| 矸石                                                                                                                | 16.10    | 69.80 | 21.80  | 70.20 |
| 原煤                                                                                                                | 100.00   | 24.04 | 100.00 | 24.70 |

由表 6 可知:XDF 型多级干选机的精煤产率为 78.2%、灰分为 12.05%,而普通复合式干选机的精煤产率为 71%、灰分为 14.1%。总体而言,普通复合式干选机不能生产灰分低于 12.5% 的精煤,而 XDF 型多级干选机可以生产灰分合格的精煤产品,且精煤产率较普通复合式干选机约高 7 个百分点,

具有分选密度低,分选精度高,无需生产中煤,产品结构简单等优点。

### 3.3.2 整体对比

考虑多个具体应用案例,XDF 多级干选机整体与常规复合式干选机相比的优势概括如下:

(1) 有效分选粒度范围宽。该设备设置三级分选床面分别对应三个布风室,采用三台鼓风机变频调节精准布风。一级到三级布风室风量逐渐递减,且各级自身也可灵活调整风量,使得不同粒级物料按照各自适宜工况条件分选,拓宽了分选粒度范围,降低了分选粒度下限。而传统复合式干选机采用单一风机对应多个布风室,各风室布风难以精准调节。

(2) 排矸量大、排矸迅速。分选床面为矩形床面,有效分选面积利用率高,入料点和矸石排料口距离 0.5 m 左右,而且多级排矸,如 XDF-10 型干选机的总排矸宽度达到 6 m,与传统复合式干选机相比,排矸距离短,排料宽度大,排矸快速,特别适合高矸石含量的劣质煤分选。

(3) 分选精度高。传统复合式干选机布风板开孔单一,而 XDF 多级干选机一级到三级分选床面开孔直径逐步变小,小颗粒物料可以获得更好的分选效果。

(4) 循环风流含尘浓度低。普通复合式干选机含尘气流经过除尘效率较低的旋风除尘器后直接回到风机循环,风机叶轮及对应管路磨损严重。而 XDF 型多级干选机配置大型脉冲袋式除尘器,含尘气流全部经袋式除尘器净化,鼓风机进风采用净化后的气流或洁净空气,对风机和设备管路的磨损低。

## 4 结语

传统干选机对 6~3 mm 粒级分选效果较差,对 <3 mm 粒级几乎没有分选作用。而 XDF 型多级干选机采用三级床面,有效降低了分选粒度下限,提高了 <6 mm 粒级的分选效果,同时全部采用袋式除尘器,含尘气流全部经过净化处理,改善了除尘效果。蒙古国干选试验结果表明,在确保产品灰分的前提下,XDF 型多级干选机对 1~5 mm 粒级的排矸率超过 80%,对 5~10 mm 粒级排矸率超过

86%,干选后产品灰分可下降 12.5 个百分点,分选精度高,排矸效果显著,可直接生产合格精煤而无需生产中煤,从而避免中煤回选。

### 参考文献:

- [1] 张振红.高山煤矿末煤干法分选工艺研究及启示[J].煤炭加工与综合利用,2019(11):32-36,40.
- [2] 李 磊,夏云凯.察哈素选煤厂末煤干选可行性研究[J].选煤技术,2022,50(2):59-63.
- [3] 张振红.马泰壕选煤厂干选扩能提质可行性分析[J].选煤技术,2021(2):40-45.
- [4] DWARI R K, RAO K. DRY BENEFICIATION OF COAL—A REVIEW. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review[J]. 2007, 28(3): 177-234.
- [5] JAMBAL D, KIM B G, JEON H S, et al. Physical separation using an autogenous medium on coal[J]. Separation Science and Technology, 52(5), 958-964.
- [6] CHALAVADI G, DAS A. Study of the mechanism of fine coal beneficiation in air table [J]. Fuel, 2015, 154(15): 207-216.
- [7] LUO Z, FAN M, ZHAO Y, et al. Density-dependent separation of dry fine coal in a vibrated fluidized bed [J]. Powder Technology, 2008, 187(2): 119-123.
- [8] WEINSTEIN R, SNOBY R. Advances in dry jigging improves coal quality. Min Eng [J]. Cancer Control Journal of the Moffitt Cancer Center, 2007, 22(9959): 263-270.
- [9] CHEN Q, WEI L. Coal dry beneficiation technology in china: the state-of-the-art [J]. China Particuology, 2003, 1(2): 52-56.
- [10] 胡 文,刘文统,杨永峰,等.灵新矿高含粉化工用煤干法分选可行性研究[J].煤炭加工与综合利用,2022(12):26-30.
- [11] 李 勃.红沙梁选煤厂干法选煤工艺研究[J].煤炭技术,2022(9):236-238.
- [12] 鲜国淋,胡丙升,宋俊超,等.SID-F 干选机分选无烟煤末煤的试验研究[J].选煤技术,2023,51(5):36-39.
- [13] 夏云凯,高建川,李 磊.高灰易泥化炼焦煤干选预排矸工艺研究,山西焦煤科技,2022(9):19-25.
- [14] 欧战备,张 伟.TGS 智能梯流干选机在淮北矿业集团的应用[J].选煤技术,2022,50(3):64-69.
- [15] 杨秀红.TFX 型干法末煤跳汰机的应用分析[J].中国煤炭,2023,449(9):125-129.