

文章编号: 1001-3571 (2015) 01-0017-03

## 复合式干选机床面颗粒运动状态分析

王旭哲<sup>1 2</sup>, 吕春晓<sup>1 2</sup>, 吴万昌<sup>3</sup>

(1. 唐山神州机械有限公司, 河北 唐山 063302; 2. 河北省煤炭干法加工装备工程技术研究中心, 河北 唐山 063302;  
3. 化工部长沙设计研究院, 湖南 长沙 410000)

**摘要:** 为了解复合式干选机分选过程中床面颗粒的运动状态, 在对 FGX-1 型复合式干选机床面颗粒运动轨迹分析的基础上, 研究精煤颗粒、矸石颗粒的位移拟合曲线, 并建立位移拟合曲线方程和与其对应的数学模型。床面颗粒的位移拟合曲线方程和相关数学模型的建立, 为复合式干选机性能的提升提供一定理论支持。

**关键词:** 复合式干选机; 高速动态在线分析系统; 运动状态; 数学模型

中图分类号: TD942

文献标志码: A

## Morphological analysis of material movement on the bed of compound dry cleaning machine

WANG Xu-zhe<sup>1 2</sup>, LV Chun-xiao<sup>1 2</sup>, WU Wan-chang<sup>3</sup>

(1. Tangshan Shenzhou Machinery Co Ltd, Tangshan, Hebei 063302, China; 2. Dry Coal Washing Equipment Engineering & Technology Research Center in Hebei Province, Tangshan, Hebei 063302, China; 3. China Blue Star Changsha Design and Research Institute, Changsha, Hunan 410000, China)

**Abstract:** To understand movement form of material on the bed of compound dry cleaning machine during separation, taking FGX-1 compound dry cleaning machine, matched displacement curves of particles of clean coal and refuse are studied by analysis of movement track of particles on the bed; and then matched displacement curves and corresponding mathematical model of particles on the bed are built, which can provide theoretical guidance to improve separation performance of the compound dry cleaning machine.

**Key words:** compound dry cleaning machine; high-speed dynamic online analysis system; motion state; mathematical model

煤炭是我国的主要能源, 在未来相当长一段时期内, 以煤炭为主的能源结构状况不会发生变化<sup>[1-3]</sup>。我国能源的利用率仅为 30% 左右, 与世界上发达国家高达 50% 以上的利用率相差甚远<sup>[3-7]</sup>。我国煤炭资源的加工与综合利用程度偏低, 导致资源浪费严重, 环境污染问题突出。洗选加工是提高煤炭资源利用率的有效途径, 由于干法选煤技术原理先进, 能对干旱缺水地区的煤炭进行有效分选, 基于该技术的复合式干选机目前已在干法选煤领域占据主要地位。据统计, 该分选机目前

占据干法选煤市场份额的 95%<sup>[8-10]</sup>。

复合式干选机的分选效果直接取决于分选机床面物料的分布状态, 而物料的分布状态与颗粒的运动状态有很大关系。因此研究床面颗粒的运动状态, 即精煤颗粒和矸石颗粒的运动轨迹、位移、速度、加速度, 对于分选机的性能提升具有重要意义。通过高速动态在线分析系统对 FGX-1 型复合式干选机床面颗粒的运动状态进行研究, 并建立颗粒的位移拟合曲线方程和与其对应的数学模型, 为复合式干选机的改进提供理论依据。

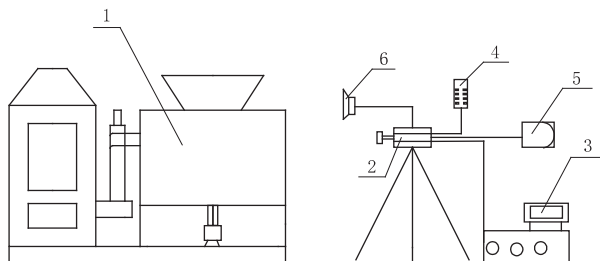
收稿日期: 2015-02-01 DOI: 10.16447/j.cnki.cpt.2015.01.005

作者简介: 王旭哲 (1983—), 男, 黑龙江省黑河市人, 助理工程师, 从事选煤新产品的研发工作。

E-mail: 106311129@qq.com Tel: 18733387726

## 1 试验系统

试验系统为高速动态在线分析系统(图1),由FGX-1型复合式干选机、Memrecam Ci3高速摄像机、计算机、J-PAD遥控器、JAZ可移动硬盘、大功率光源组成。由于高速摄像机镜头范围和拍摄时间的限制,试验过程中不能对床面颗粒的运动轨迹完全跟踪,但捕捉到的颗粒运动轨迹足以说明其运动特性。



1—FGX-1型复合式干选机; 2—Memrecam Ci3高速摄像机; 3—计算机; 4—J-PAD遥控器; 5—JAZ可移动硬盘; 6—大功率光源

图1 高速动态在线分析系统结构示意图

Fig. 1 Diagram of high-speed dynamic online analysis system

## 2 坐标系的建立

颗粒在复合式干选机中分选时受重力、激振力、风力、床层作用力等的综合作用,为更好地了解颗粒运动状况,对复合式干选机中的颗粒受力进行分析,并建立相应的坐标系(图2)。坐标原点为床面入料端与排料挡板的交点,排料挡板至背板的坐标轴为 $X$ 轴,垂直于分选机床面的坐标轴为 $Y$ 轴,入料端至矽石端的坐标轴为 $Z$ 轴。其中 $XOY$ 面为分选机床面的横断面, $YOZ$ 面为分选机床面的纵断面。

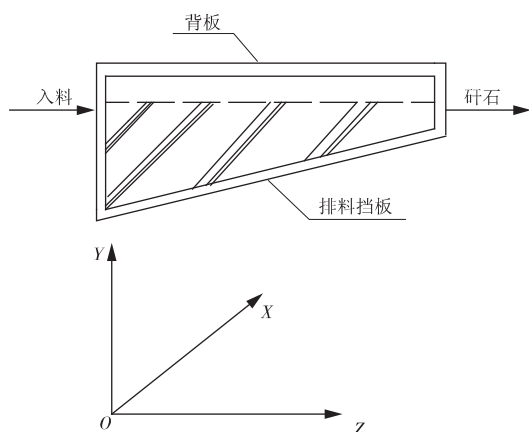


图2 复合式干选机床面颗粒受力力场及其坐标系

Fig. 2 Force analysis field and coordinate system of particles on the bed of compound dry cleaning machine

## 3 试验结果及分析

拍摄过程中将高速动态图像的拍摄速度设定为100幅/s,因此每两幅连续图像的间隔拍摄时间为0.01 s,0~7 s内的颗粒运动轨迹如图3所示。由图3可知:物料运动过程,矽石颗粒逐渐向背板和排矽端运动,精煤颗粒逐渐向排料挡板运动。

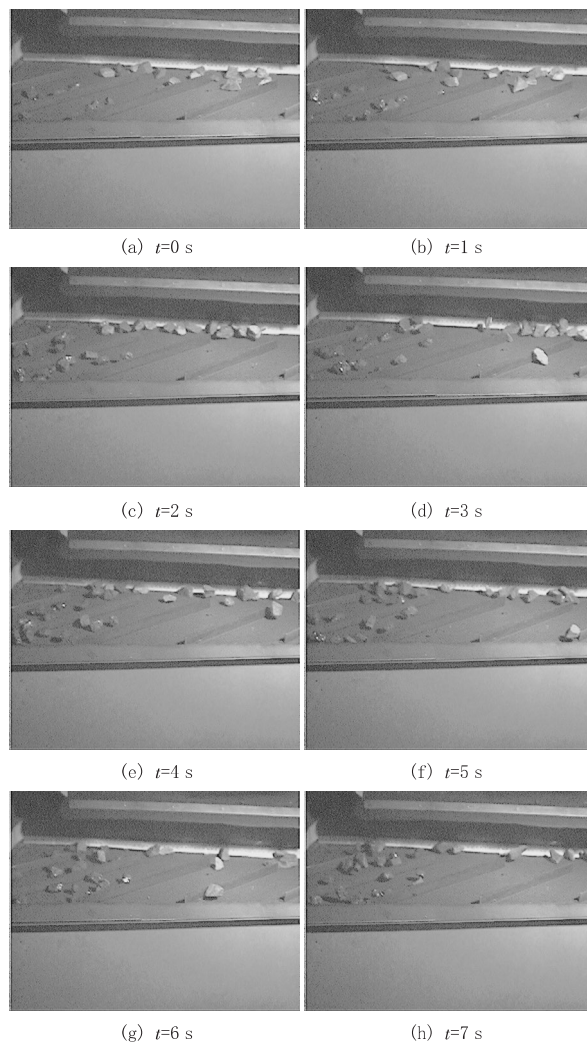


图3 不同时间时床面颗粒的运动轨迹

Fig. 3 Movement track of particles on the bed in different time

### 3.1 颗粒位移拟合曲线

在对高速动态系统拍摄到的颗粒运动轨迹取点分析的基础上,采用Origin软件绘制出精煤颗粒、矽石颗粒各自的位移曲线。由于拍摄过程中选用的精煤颗粒、矽石颗粒的粒径较大,给选点分析等工作带来了较大困难,由此造成的误差不可避免。在研究复合式干选机床面颗粒运动过程中,关注的是矽石颗粒向排矽端和精煤颗粒向排料挡板的运动,因此需要分析精煤颗粒沿 $X$ 轴的位移和矽石颗粒沿 $Z$ 轴的位移。矽石颗粒、精煤颗粒的位移拟合曲线如

图4所示。

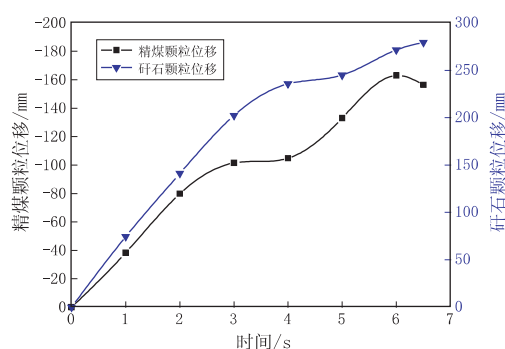


图4 床面颗粒位移拟合曲线

Fig. 4 Matched displacement curves of particles

### 3.2 精煤颗粒位移拟合曲线方程

精煤颗粒沿  $X$  轴的位移拟合曲线方程为:

$$S = a + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3,$$

式中:  $S$  为精煤颗粒沿  $X$  轴的位移  $\mu\text{m}$ ;  $a$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$  为方程的系数;  $t$  为精煤颗粒的运动时间  $s$ 。

将运动时间带入方程后,可得到  $a = -0.788$ 、 $b_1 = -50.715$ 、 $b_2 = 7.795$ 、 $b_3 = -0.597$ ,整理后的精煤颗粒沿  $X$  轴的位移拟合曲线方程为:

$$S = -0.788 - 50.175t + 7.795t^2 - 0.597t^3. \quad (1)$$

经计算,精煤颗粒沿  $X$  轴的位移拟合曲线方程的决定系数  $R^2 = 0.9839$ ,非常接近于1,因此该拟合结果有效。

对精煤颗粒位移拟合曲线方程求一阶导数,可计算出精煤颗粒不同时间的速度方程:

$$V_s(t) = \frac{dS}{dt} = -50.715 + 15.59t - 1.791t^2, \quad (2)$$

式中:  $V_s(t)$  为  $t$  时精煤颗粒沿  $X$  轴的速度  $\text{mm/s}$ 。

对精煤颗粒的速度方程求一阶导数,可计算出精煤颗粒不同时间的加速度方程:

$$a_s(t) = \frac{d(V_s(t))}{dt} = 15.59 - 3.582t, \quad (3)$$

式中:  $a_s(t)$  为  $t$  时精煤颗粒的加速度  $\text{mm/s}^2$ 。

由式(1-3)可知,精煤颗粒沿  $X$  轴的位移拟合曲线、速度、加速度与时间有很大关系。随着运动时间的延长,精煤颗粒的加速度逐渐减小,运动至某一时间点时,加速度方向相反且逐渐增大,精煤颗粒的速度不断减小,直至为零。即运动至矽石段时精煤颗粒末速度为零,说明矽石段基本没有精煤颗粒。

### 3.3 矽石颗粒位移拟合曲线方程

矽石颗粒沿  $Z$  轴的位移拟合曲线方程为:

$$S = a + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3,$$

式中:  $S$  为矽石颗粒沿  $Z$  轴的位移  $\mu\text{m}$ ;  $a$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$  为方程的系数;  $t$  为矽石颗粒的运动时间  $s$ 。

将运动时间带入方程后,可得到  $a = -3.132$ 、 $b_1 = 92.97$ 、 $b_2 = -10.255$ 、 $b_3 = 0.397$ ,整理后的矽石颗粒沿  $Z$  轴的位移拟合曲线方程为:

$$S = -3.132 + 92.97t - 10.255t^2 + 0.397t^3, \quad (4)$$

经计算,该方程的决定系数  $R^2 = 0.9964$ ,非常接近于1,说明拟合结果有效。

对矽石颗粒的位移拟合曲线方程求一阶导数,可计算出其不同时间的速度方程:

$$V_s(t) = \frac{dS}{dt} = 92.97 - 20.51t^2 + 1.91t^2, \quad (5)$$

式中:  $V_s(t)$  为  $t$  时矽石颗粒沿  $Z$  轴的速度  $\text{mm/s}$ 。

对矽石颗粒的速度方程求一阶导数,可计算出其不同时间的加速度方程:

$$a_s(t) = \frac{d(V_s(t))}{dt} = -20.51 + 2.382t, \quad (6)$$

式中:  $a_s(t)$  为  $t$  时矽石颗粒的加速度  $\text{mm/s}^2$ 。

由式(4-6)可知,矽石颗粒沿  $Z$  轴的位移拟合曲线、速度、加速度与时间有很大关系。随着运动时间的延长,矽石颗粒的加速度逐渐减小,某一时间点后加速度反向且增大,使矽石颗粒的末速度为零,说明精煤排料端基本没有矽石颗粒。

## 4 结论

通过试验得出了复合式干选机床面颗粒的运动轨迹,并对其进行深入分析,为此类分选机的性能提升提供技术支持。由试验可得出如下结论:

(1) 运动时间对颗粒的位移拟合曲线、速度、加速度有很大影响,随着运动时间的延长,颗粒的加速度不断发生变化,某一时间点后其末速度为零,从而实现精煤颗粒、矽石颗粒的顺利分离。

(2) 颗粒运动时间与床面结构参数有关,优化床面结构参数即可有效控制其运动时间,进而提高复合式干选机的分选效果。

参考文献:

- [1] 郑高飞,李善武,陈东,等. 对流干燥设计要点[J]. 干燥技术与设备,2013(5).
- [2] 吴万昌,复合式干法分选特性研究[D]. 徐州: 中国矿业大学,2010.

(下转第23页)

浮选药剂与煤接触后,药剂分子在煤粒表面附着、铺展,此过程会产生热效应。煤粒对液体的吸附能力越强,液体在煤粒表面铺展形成的接触角越小,产生的润湿热越大<sup>[7-8]</sup>。润湿热的数值可表征固-液体体系的润湿性能,数值的大小反映固体与液体亲和力的强弱。极性矿物在极性液体中的润湿热较大,在非极性液体中的润湿热较小,非极性矿物的润湿热一般比较小。润湿热越大,说明矿物颗粒与水分子的亲和力越强,矿物表面越容易被润湿,表现为亲水性;润湿热数值越小,说明矿物颗粒与水分子的亲和力越弱,矿物表面越不容易被润湿,表现为疏水性<sup>[9]</sup>。煤表面的润湿热可用其表面因润湿而发生的焓变表示,即:

$$-Q = H_i = H_{sl} - H_{sg},$$

式中:  $Q$  为比表面润湿热;  $H_i$  为润湿前后的焓变;  $H_{sl}$  为液-固界面比表面焓;  $H_{sg}$  为气-固界面比表面焓<sup>[10-11]</sup>。

#### 4 结论

对于铁东选煤厂的煤泥来说,通过浮选试验可得出如下结论:

(1) 当捕收剂选用 THT92,起泡剂选用仲辛醇,且其用量分别为 120、24.6 g/t 时,煤泥浮选效果最好;此时,浮选完善指标为 67.73%,浮选精煤可燃体回收率为 80.82%,浮选精煤灰分为 6.92%,产率为 59.50%,浮选尾煤灰分为 67.54%,煤泥可浮性等级为极易浮。

(2) 浮选速度试验过程中,前 30 s 内浮出的精煤量较大,且浮选精煤灰分较低,说明该厂煤泥的浮

选速度较快。

(3) 四种药剂与煤样作用的润湿热热流曲线说明,THT92 捕收剂能够牢固地吸附在煤粒上,可有效提高煤表面的疏水性。

参考文献:

- [1] 丁立亲. 浮选的理论与实践[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1987.
  - [2] 闫波, 周长春, 任新春. 煤用捕收剂的研究与应用现状[J]. 选煤技术, 2011(2): 74-77.
  - [3] 谢广元. 选矿学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001: 451-462.
  - [4] 王学霞, 谢广元, 彭耀丽, 等. 新型浮选药剂改善煤泥分选效果的实验研究[J]. 中国煤炭, 2013, 39(8): 89-92.
  - [5] 李哲, 姚雨龙, 肖伟丽. 矿物颗粒表面润湿程度的表征及应用[J]. 黑龙江科技学院学报, 2011, 21(4): 265-267.
  - [6] 谢克昌. 煤的结构与反应性[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 117.
  - [7] 荀海鑫, 康文泽, 刘松阳. AO 捕收剂对稀缺难浮煤泥的捕收效果研究[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(8): 118-120.
  - [8] 康文泽, 刘松阳, 张亚革. AO 捕收剂浮选稀缺难浮煤实验[J]. 黑龙江科技学院学报, 2011, 21(2): 86-88.
  - [9] 朱玉. XY 复合药剂的制备与应用研究[D]. 哈尔滨: 黑龙江科技学院, 2009.
  - [10] 许占贤, 周振英. 选煤试验[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1994.
  - [11] 杨晓松. 煤泥浮选技术综述[J]. 煤, 2011(7): 36-37.
- +++++
- (上接第 19 页)
- [3] 唐利刚, 赵跃民, 骆振福, 等. 宽粒级加重质的流化特性[J]. 中国矿业大学学报, 2009, 38(4): 509-514.
  - [4] 赵跃民, 李功民, 骆振福, 等. 一种新型的高效干法选煤设备[J]. 中国煤炭, 2009, 35(10): 90-92.
  - [5] 徐守坤. 空气重介质流化床动力学模拟研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2001.
  - [6] 王敦曾. 选煤新技术的研究与应用(修订版)[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2005.
  - [7] 朱书全. 褐煤提质技术开发现状及分析[J]. 洁净煤技术, 2011, 17(1): 1-4.
  - [8] 沈丽娟. 自生介质在复合式干选机中的作用[J]. 选煤技术, 1998(2): 45-48.
  - [9] 卢连永, 杨云松, 徐永生, 等. 复合式干法选煤与传统风力选煤的对比[J]. 煤炭加工与综合利用, 1999(2): 3-6.
  - [10] 沈丽娟. FGX 系列复合式干选机选煤的研究[J]. 选煤技术, 2001(6): 1-8.
  - [11] 杨云松, 李功民. 迅速推广的复合式干法选煤技术[J]. 煤质技术, 2001(3): 8-13.