

# 油菜脱出物振动筛分运动分析及试验研究

李耀明, 王智华, 徐立章, 杨秀景

(江苏大学农业工程研究院, 江苏省现代农业装备与技术重点实验室, 镇江 212013)

**摘要:** 通过分析振动筛抛射强度对筛面物料运动状态的影响, 以颗粒的碰撞理论为基础, 建立单个物料颗粒在筛面上的运动模型, 并通过运动稳定性分析, 得到不同抛射强度下物料颗粒的运动规律。通过试验得出对应抛射强度下的清选损失率。根据振动筛主要工作参数对筛面抛射强度的影响, 为油菜联合收割机清选装置振动筛运动参数的合理选取提供参考依据。

**关键词:** 油菜; 振动筛分; 抛射强度; 碰撞; 清选

**中图分类号:** S225.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2007)9-0111-04

李耀明, 王智华, 徐立章, 等. 油菜脱出物振动筛分运动分析及试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 111-114.

Li Yaoming, Wang Zhihua, Xu Lizhang, et al. Motion analysis and experimental research of rape extractions on vibration sieve[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(9): 111-114. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

对物料在振动筛面上运动规律的研究, 认识物料在筛面上的不同运动形式是寻求筛分机械最佳工作参数的重要途径。目前, 对于油菜脱出物的筛分一般采用的是风筛式, 主要依靠振动筛的振动, 使脱出物在筛面上运动分层, 油菜籽粒透过筛孔下落, 风机吹出的气流在筛分过程中使物料蓬松, 起辅助筛分的作用。因此, 振动筛工作参数的变化直接影响着筛面物料的运动形式, 从而影响清选装置的清选性能。对油菜脱出物在振动筛面上的运动规律进行研究, 合理选取振动筛的工作参数<sup>[1]</sup>, 是提高清选装置工作性能的主要方法, 也是提高油菜联合收割机整机性能的有效途径<sup>[2-6]</sup>。

## 1 振动筛的抛射强度

油菜脱出物在振动筛面上的运动状态直接影响着振动筛的筛分效果, 而油菜脱出物在筛面上的运动情况除了气流作用的影响外, 主要取决于振动筛的抛射强度<sup>[4,7]</sup>。筛分所用的振动筛的筛面跟水平面成一定的角度, 为了便于分析, 取脱出物中的油菜籽粒进行受力分析, 在不加入气流作用时, 单颗油菜籽粒在振动筛面上的受力分析如图1所示<sup>[8]</sup>。

要使物料抛起, 则必须满足<sup>[7]</sup>:

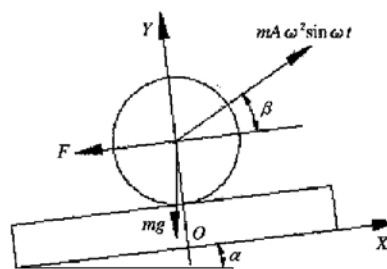
$$mA\omega^2\sin\alpha\sin\beta > mg\cos\alpha$$

式中  $m$ ——物料质量;  $A$ ——筛面振幅;  $\omega$ ——筛面角频率;  $t$ ——时间。

取  $\sin\alpha$  最大值 1, 当满足:

$$k_v = \frac{A\omega^2\sin\beta}{g\cos\alpha} > 1 \quad (1)$$

此时, 筛面物料被抛起,  $k_v$  为振动筛的抛射强度, 它是指振动加速度筛面法向分量与重力加速度筛面法向分量的比值。抛射强度的大小决定着筛面物料的滑动和跳动。筛面物料的跳动有利于疏松、分层, 能使需透筛物料有更多的机会穿过料层接触筛面顺利透筛<sup>[9,10]</sup>。因此, 本文主要讨论抛射强度大于 1 时, 物料在筛面上的各种跳动情况。



注:  $mA\omega^2\sin\alpha$ —物料所受的惯性力  $F$ —物料所受的筛面摩擦力  $\alpha$ —筛面倾角  $\beta$ —振动方向角

图1 单颗油菜籽粒在振动筛面上的受力分析

Fig. 1 Load analysis of a rapeseed on vibration sieve

## 2 物料单颗粒在筛面上的运动分析

以颗粒的碰撞理论为基础, 为了方便理论分析, 把脱出物中的油菜籽粒看作圆球, 筛面水平放置, 颗粒垂直碰撞筛面。此时, 式(1)中的筛面倾角  $\alpha$  为  $0^\circ$ , 振动方

收稿日期: 2006-03-23 修订日期: 2007-07-10

基金项目: 江苏省自然科学基金资助项目(BK2004060); 江苏省农业科技攻关项目(BE2005302)

作者简介: 李耀明(1959-), 男, 江苏张家港人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事收获机械及种植机械的基础及应用研究。镇江 江苏大学农业工程研究院, 212013。Email: ymli@ujs.edu.cn

向角  $\beta$  为  $90^\circ$ , 即只要抛射强度  $k_v > 1$  物料颗粒就会出现跳动<sup>[8, 11]</sup>。

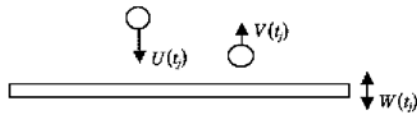


图2 颗粒运动示意图

Fig. 2 Schematic diagram of pellet motion state

由于颗粒的质量远小于筛面, 碰撞并不会影响筛面的运动速度。图2为颗粒运动的示意图。设  $t_j$  时刻颗粒与筛面碰撞时, 颗粒碰撞前、碰撞后的速度分别为  $U(t_j)$  和  $V(t_j)$ , 碰撞时筛面的速度为  $W(t_j)$ 。得到:

$$V(t_j) - W(t_j) = e(-U(t_j) + W(t_j)) \quad (2)$$

式中  $e$ ——颗粒与筛面碰撞的速度恢复系数, 通常取  $e = 0.5$ 。

颗粒在  $t_{j+1}$  时刻趋向与筛面的速度近似等于第  $j$  次离开筛面的速度, 则颗粒第  $j+1$  次碰撞前的速度为

$$U(t_{j+1}) \approx -V(t_j) \quad (3)$$

颗粒碰撞时间与上升、下落的时间相比忽略不计, 则:

$$t_{j+1} - t_j = \frac{2V(t_j)}{g} \quad (4)$$

由式(2)、(3)、(4)可以得到颗粒第  $j+1$  次碰撞和第  $j$  次碰撞的非线性迭代关系<sup>[12]</sup>:

$$\begin{cases} t_{j+1} = t_j + \frac{2V_j}{g} \\ V_{j+1} = eV_j + (1+e)W_{j+1} \end{cases}$$

令  $x = \omega t$ ,  $y = \frac{2\omega V}{g}$ ,  $r = \frac{2A\omega^2(1+e)}{g}$ , 对上式作变换, 可得到二维映射:

$$\begin{cases} x_{j+1} = x_j + y_j \\ y_{j+1} = ey_j + r\cos(x_j + y_j) \end{cases} \quad (5)$$

对于映射(5)存在不动点  $O(y=0, x=\frac{n\pi}{2}, n=1, 3, 5, \dots)$ 。

从映射关系可以看出, 不动点  $O$  的稳定点跟  $r$  值有关,  $r = \frac{2A\omega^2(1+e)}{g}$ , 其中  $e$  为常数, 即跟抛射强度  $k_v = \frac{A\omega^2}{g}$  有关。

采用数值求解的方法, 寻找映射稳定的不动点, 得出关系<sup>[9, 13]</sup>:

1) 当  $1 < k_v < 1.33$  映射有两个稳定的不动点, 此时代表颗粒做稳定的周期运动。当  $1.33 < k_v < 1.67$  映射有4个稳定的不动点, 颗粒跳动两次作为一个周期,

即做倍周期运动。运动轨迹示意图如图3所示。

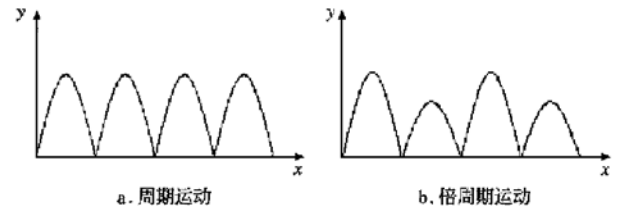


图3 颗粒周期、倍周期运动示意图

Fig. 3 Schematic diagram of pellet periodic motion and double periodic motion

2) 当  $k_v > 1.67$  映射没有稳定的不动点, 即不存在稳定的周期运动, 此时颗粒的运动轨迹呈混乱状态, 即混沌运动。运动轨迹示意图如图4所示。

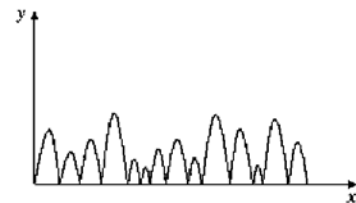


图4 颗粒混沌运动示意图

Fig. 4 Schematic diagram of pellet chaotic motion

由图4可以看出, 抛射强度的大小直接影响到筛面颗粒的运动状态<sup>[14]</sup>。由上述分析可以看出, 在出现混沌运动状态后, 运动杂乱, 颗粒间产生相互碰撞, 部分颗粒由于碰撞会出现停退, 能使应透筛的物料有更多的透筛机会。

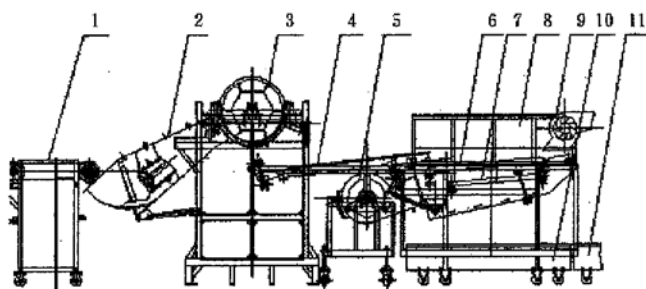
### 3 振动筛筛分试验研究

#### 3.1 试验装置及试验条件

本试验主要目的是考察在不同的筛面抛射强度下, 油菜脱出物中油菜籽粒的透筛情况, 体现在清选的损失率上表现为: 透筛情况好, 则清选损失率低, 反之则高。

试验在 DF-1.5 型物料脱粒分离、清选仿真试验台上进行, 如图5所示。该装置主要由输送带、喂入输送带、脱粒分离装置、振动筛、离心风机、贯流风机、传动系统和传感器等组成。其中, 振动筛的振幅、振动频率可以通过改变曲柄半径和曲柄转速来调节, 离心风机转速也可调, 所有这些参数值都由传感器实时测得, 并记录到计算机中。

试验中喂入量为  $1.2 \text{ kg/s}$ , 贯流风机转速为  $1050 \text{ r/min}$ , 振动筛面倾角为  $\alpha = 6^\circ$ , 振动方向角为  $\beta = 45^\circ$ , 筛面宽度为  $900 \text{ mm}$ , 筛面长度为  $1100 \text{ mm}$ , 上振动筛结构为直径  $\varnothing 10 \text{ mm}$  的冲孔筛, 下筛为直径为  $\varnothing 6 \text{ mm}$  的小冲孔筛, 离心风机出风口倾角为  $25^\circ$ 。



1. 输送带 2. 喂入输送带 3. 脱粒分离装置 4. 抖动板 5. 离心风机 6. 上振动筛 7. 下振动筛 8. 气流室 9. 贯流风机 10. 接粮箱 11. 排草箱

图5 DF-1.5型物料脱粒分离、清选仿真试验台结构示意图

Fig. 5 Structure of DF-1.5 test bed for threshing and cleaning material

### 3.2 试验结果及分析

试验在3种不同的气流参数条件下进行, 气流参数的改变通过调节离心风机的转速实现, 离心风机转速分别取820、860、900 r/min以改变气流的大小。试验过程曲柄半径分别取18、24、30 mm, 振幅大小约等于曲柄半径。曲柄转速分别取260、285、310 r/min以改变振动筛的振动频率。每一气流参数条件下都进行振动筛曲柄半径和曲柄转速的调节来改变抛射强度的大小, 分别测定清选损失率。同一气流参数条件下共有9组试验, 每组进行3次, 取平均值。试验结果见表1。表中所列出的 $k_v$ 值根据式(1)求得。

表1 试验结果

Table 1 Experimental results

试验序号	曲柄半径/mm	曲柄转速/ $r \cdot \min^{-1}$	离心风机转速/ $r \cdot \min^{-1}$	$k_v$	清选损失率/%
1	18	260	820	0.967	5.252
2	18	285	820	1.162	4.638
3	18	310	820	1.375	4.721
4	24	260	820	1.289	4.431
5	24	285	820	1.549	4.426
6	24	310	820	1.833	3.422
7	30	260	820	1.612	4.578
8	30	285	820	1.937	3.347
9	30	310	820	2.291	3.624
10	18	260	860	0.967	5.614
11	18	285	860	1.162	5.231
12	18	310	860	1.375	5.143
13	24	260	860	1.289	4.849
14	24	285	860	1.549	4.623
15	24	310	860	1.833	3.742
16	30	260	860	1.612	4.512
17	30	285	860	1.937	3.625
18	30	310	860	2.291	4.012
19	18	260	900	0.967	4.712
20	18	285	900	1.162	4.253
21	18	310	900	1.375	4.221
22	24	260	900	1.289	4.315
23	24	285	900	1.549	4.126
24	24	310	900	1.833	3.816
25	30	260	900	1.612	4.098
26	30	285	900	1.937	3.647
27	30	310	900	2.291	3.984

当离心风机转速为820、860、900 r/min时, 在不同 $k_v$ 值下清选损失率如图6所示。

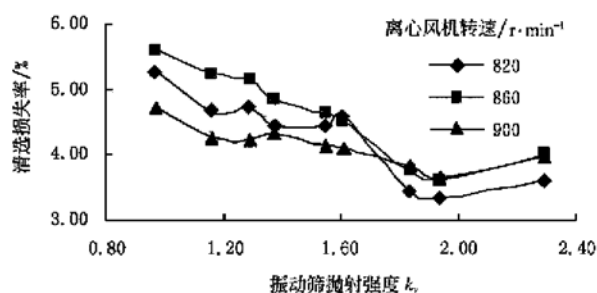


图6 不同 $k_v$ 值下的清选损失率图

Fig. 6 Cleaning loss rate under changed ejection intensity

根据试验情况, 结合试验结果图6曲线可知:

1) 从同一气流速度下损失率曲线的变化情况可以看出振动筛抛射强度的改变对清选效果的影响。总体上看, 随着振动筛抛射强度的不断增加, 清选损失率先有比较明显的降低, 后趋于平稳, 继续增加抛射强度, 损失率又出现比较明显的降低, 随后平稳, 并有所回升。

第一次明显的降幅出现在筛面抛射强度为1~1.2的时候, 此时主要是因为筛面上的油菜脱出物由原来的滑动状态变成跳动状态, 物料间出现了分层, 籽粒透筛机会增加。第二次明显的降幅出现在筛面抛射强度为1.6~2的时候, 主要是因为脱出物在筛面上由原来的周期跳动变成无规律的混沌跳动, 颗粒之间发生较多的相互碰撞, 有些出现停退, 籽粒的透筛机会增加。当抛射强度大于2.2以后, 筛面物料出现过于激烈的翻滚, 清选损失率又有所回升。

2) 除了抛射强度的作用, 气流的改变也会对清选损失率有一定的影响。

从图6中可以看出, 当风机转速为820 r/min和860 r/min时, 气流较弱, 对筛面上油菜脱出物的吹托作用不大, 清选损失率很大程度上取决于振动筛的作用。因此, 当振动筛抛射强度改变时, 清选损失率出现的降幅较大。当风机转速为900 r/min时, 气流较强, 筛面上的油菜脱出物在气流的作用下呈现浮动状态。因此振动筛振动强度的变化对筛面物料的运动影响减弱, 损失率随筛面抛射强度变化的降幅不大, 但在出现混沌运动后损失率也有所下降。

损失率最小的情况出现在振动筛抛射强度 $k_v = 1.937$ , 此时, 脱出物在筛面上做混沌运动。

### 4 振动筛主要工作参数的取值

振动筛抛射强度的大小对油菜脱出物清选性能好坏起着决定性作用, 而对于油菜联合收割机清选装置所

用振动筛的抛射强度主要是由振动筛的振幅和振动频率决定的,分别可以通过调节曲柄半径和曲柄转速来实现其变化。

上节试验结果发现在抛射强度  $k_v = 1.937$  的时候,清选损失率最低,清选效果较好。

当  $k_v = \frac{A\omega^2 \sin\beta}{g \cos\alpha} = 1.937$  时,振动筛曲柄半径和曲柄转速的取值如图 7 所示。

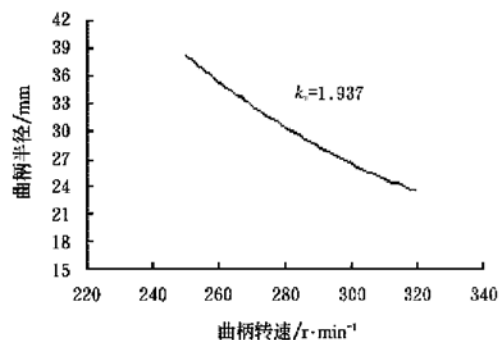


图 7  $k_v = 1.937$  时曲柄半径和曲柄转速关系曲线

Fig. 7 Curve for the relationship of crank radius and crank rotation speed when  $k_v = 1.937$

## 5 结 论

1) 振动筛抛射强度的大小决定了油菜脱出物在筛面的运动状态,不同的抛射强度可以使脱出物在筛面上出现周期运动,倍周期运动和混沌运动。

2) 抛射强度大小从能使脱出物抛起开始增加,油菜脱出物在振动筛面上的运动由有规律的周期跳动转变为混沌运动状态,由于颗粒之间发生较多的相互碰撞现象,在总体向前运动的状态下,油菜籽粒出现停退,增加了油菜籽粒透筛的机会,提高筛分效果。

3) 振动筛的筛分作用直接影响了整个清选装置的清选性能,在选取振动筛运动参数的时候,保证振动筛

一定的抛射强度能达到满意的筛分效果。

## [参 考 文 献]

- [1] 成芳,王俊. 风筛式清选装置主要参数的试验研究[J]. 农业工程学报, 1998, (4): 217-221.
- [2] 郝心亮. 往复振动平面筛分选大豆的试验研究[J]. 农业工程学报, 1999, (2): 143-146.
- [3] 阮竞兰,阮少兰,伍毅. 振动筛参数对工作效率影响的分析研究[J]. 粮食与饲料工业, 2000, (1): 15-17.
- [4] 李建平,赵匀. 物料在振动筛面上抛起的计算机模拟和实验研究[J]. 农业工程学报, 1997, 13(4): 46-48.
- [5] 张伟亿,陈予恕. 振动机械中物料的复杂运动规律[A]. 全国第五届非线性振动会议论文集[C]. 1990.
- [6] 孙刚,李世争,孙薇. 用混沌理论研究筛分过程中物料的运动规律[J]. 北京科技大学学报, 1999, 21(3): 223-226.
- [7] 刘初升,赵跃民. 振动筛面上单颗粒运动的非线性特性的研究[J]. 矿山机械, 1999, (1): 45-46.
- [8] 姚恒申,杜坚,张明洪. 固相颗粒在钻井液振动筛筛面上的抛掷运动规律研究[J]. 应用数学和力学, 2002, (6): 583-587.
- [9] 尹守仁. 筛分基础理论和筛分过程物料运动规律的研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 1999: 43-63.
- [10] 王庆祝,赵金川,刘荣昌. 高速气流清选农作物籽粒的机理探讨[J]. 河北职业技术师范学院学报, 2002, 16(4): 44-48.
- [11] 陈予恕. 非线性振动[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [12] 谢应齐,曹杰. 非线性动力学数学方法[M]. 北京: 气象出版社, 2001.
- [13] 姜泽辉,李斌,赵海发,等. 竖直振动颗粒物厚层中冲击力分岔现象[J]. 物理学报, 2005, (3): 1273-1278.
- [14] Li Shangping, Meng Yanmei, Ma Fanglen. Research on the working mechanism and virtual design for a brush shape cleaning element of a sugarcane harvester [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 129 (1): 418-422.

# Motion analysis and experimental research of rape extractions on vibration sieve

Li Yaoming, Wang Zhihua, Xu Lizhang, Yang Xiujing

(Agricultural Engineering Institute, Jiangsu Provincial Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** By analyzing the motion state of rape extractions on vibration sieve in different ejection intensities and based on the collision theory a motion mathematical model of a rapeseed on the vibration sieve was established. By analyzing the major factors affecting the motion state and motion stability of rapeseed the motion regularity of rapeseed with different ejection intensities was found. Experiments were conducted on experimental platform to find out the influence on the cleaning loss ratio which caused by the changing ejection intensity. The influence on the ejection intensity which caused by the motion parameters was analyzed. These results provide reference basis for selecting the motion parameters of vibration sieve on cleaning device.

**Key words:** rapeseed; vibration separation; ejection intensity; collision; cleaning