

文章编号: 100226819(2001)0620022204

倾斜气流清选装置中物料的动力学特性、轨迹和分离研究

李 革, 赵 匀, 俞高红
(浙江大学)

摘 要: 通过研究物料在倾斜气流中的动力学, 建立了相对精确的动力学模型, 应用数值计算方法计算出倾斜气流清粮室内的物料运动轨迹和气流速度、物料速度单因素变化的关系曲线, 提出了在实际工况中如何调整参数以使清选装置达到最佳清选状态。

关键词: 物料清选; 气流分离; 空气动力学

中图分类号: S226 5²⁺ **文献标识码:** A

气流分离装置是一种结构简单, 故障率低的物料清选方式, 装置内的物料在倾斜气流作用下, 谷物和各种混杂物由于其运动轨迹不同而被分离。

研究物料运动传统分析受到计算条件限制, 采用了将模型近似处理的方法计算物料的运动轨迹。本文建立了相对精确的动力学方程, 并应用数值计算方法在 VB 平台上编制了物料运动轨迹和落点位置, 以及气流速度、方向和物料的速度、方向的相关程序。

在倾斜气流清选装置中, 清选效果取决于气流速度、气流角度、物料进入倾斜气流的方向和速度以及清选装置的尺寸。根据物料动力学方程和数值计算, 确定了理论清选最佳参数, 通过对单因素变化分析, 提出了在实际工况中可能出现的偏差, 以及如何调整参数使倾斜气流清粮室达到最佳清粮状态。在 VB 平台上以图形显示, 为人机对话优化和调整参数创造了条件。

1 倾斜气流中物料的动力学方程

将谷物及混杂物作为在倾斜气流作用下的质点, 建立动力学方程。为了消去质量 m 和简化积分运算, 在方程中列入物料悬浮速度 V_L , 以取代漂浮系数。以物料进入倾斜气流点作为坐标原点, 铅垂方向为 x , 水平方向为 y , 气流与水平方向夹角为 B , 速度为 \bar{u} , 物料的初始速度为 \bar{V}_0 , 与铅垂方向夹角为 A 物料的漂浮速度为 V_L , 绝对速度 \bar{V} , 把 \bar{u} 看作空气对

物料的牵连速度(图 1), 则物料相对运动速度为

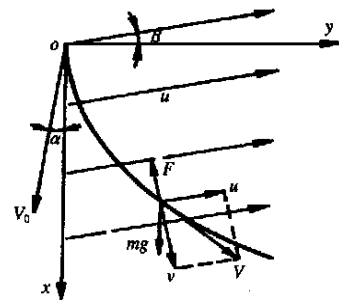
$$\bar{v} = \bar{V} - \bar{u} \quad (1)$$


图 1 物料在倾斜气流中的受力分析

Fig 1 The forces of material in sloping airflow

当气流垂直向上, 物料悬浮于空中, 气流对物料作用力与重力平衡, $F = KmV_L^2 = mg$, $K = g \bar{O}V_L^2$ 。

气流对物料的作用力: $\bar{F} = -\frac{m \cdot g}{V_L^2} \bar{v}v$, 与 \bar{v} 方向相反, 建立平面矢量形式动力学微分方程

$$-\frac{m \cdot g}{V_L^2} \bar{v}v + m \bar{g} = m \frac{d\bar{V}}{dt} \quad (2)$$

转换成角度形式微分方程

$$\begin{cases} -\frac{g}{V_L^2} v v_x + g = \frac{dV_x}{dt} \\ -\frac{g}{V_L^2} v v_y = \frac{dV_y}{dt} \end{cases} \quad (3)$$

其中:

$$\begin{aligned} v_x &= V_x - u \cos \left[B + \frac{P}{2} \right] = V_x + u \sin B \\ v_y &= V_y - u \sin \left[B + \frac{P}{2} \right] = V_y + u \cos B \end{aligned}$$

代入方程组(3), 得到

收稿日期: 2001201205 修订日期: 2001208221

作者简介: 李革, 博士生, 杭州市华家池 浙江大学农业工程与食品学院, 310029

$$\begin{cases} f_1(V_x, V_y) = \frac{dV_x}{dt} = \frac{-g}{V_L^2} \sqrt{(V_x + u \sin B)^2 + (V_y - u \cos B)^2} (V_x + u \sin B) + g \\ f_2(V_x, V_y) = \frac{dV_y}{dt} = \frac{-g}{V_L^2} \sqrt{(V_x + u \sin B)^2 + (V_y - u \cos B)^2} (V_y - u \cos B) \end{cases} \quad (4)$$

物料初始速度

$$\begin{cases} V_{x0} = V_0 \cos(2P - A) = V_0 \cos A \\ V_{y0} = V_0 \sin(2P - A) = -V_0 \sin A \end{cases}$$

2 质点速度和位移

1) 求各点速度

微分方程组 (4) 只能用数值方法求其原函数。以时间 \$t\$ 为步长, 设 \$V_{xi}, V_{yi}\$ 为 \$t\$ 时间的初始速度二维分量, 求出 \$t\$ 时间后的速度

$$\begin{cases} \tilde{V}_{xi+1} = V_{xi} + \Delta t f_1(V_{xi}, V_{yi}) \\ \tilde{V}_{yi+1} = V_{yi} + \Delta t f_2(V_{xi}, V_{yi}) \end{cases} \quad (5)$$

\$\tilde{V}_{xi+1}, \tilde{V}_{yi+1}\$ 为 \$t\$ 时间速度近似值, 其精确度不高, 相当于以初始加速度为高, \$t\$ 时间为宽的矩形面积, 为了提高其精度, 对方程组 (5) 进行修正

$$\begin{cases} V_{xi+1} = V_{xi} + \Delta t \ddot{0}(f_1(V_{xi}, V_{yi}) + f_1(\tilde{V}_{xi+1}, \tilde{V}_{yi+1})) \\ V_{yi+1} = V_{yi} + \Delta t \ddot{0}(f_2(V_{xi}, V_{yi}) + f_2(\tilde{V}_{xi+1}, \tilde{V}_{yi+1})) \end{cases} \quad (6)$$

方程组 (6) 虽然是近似值, 但相当于积分后以初始加速度和 \$t\$ 时间后的加速度作为上底和下底的梯形面积, 精度比 \$\tilde{V}_{xi+1}, \tilde{V}_{yi+1}\$ 提高了一个等级。

2) 求各点的位移

在微小的 \$t\$ 时间内, 其速度可看作初始速度和终结速度的平均值, 物料的位移量为

$$\begin{cases} \Delta x_i = (V_{xi+1} + V_{xi}) \Delta t \\ \Delta y_i = (V_{yi+1} + V_{yi}) \Delta t \end{cases} \quad (7)$$

物料的位移

$$\begin{cases} x_{i+1} = x_i + \Delta x_i \\ y_{i+1} = y_i + \Delta y_i \end{cases} \quad (8)$$

\$x_{i+1}\$ 为物料离开进料口的铅垂高度, \$y_{i+1}\$ 为物料离开进料口的水平长度, 改变气流速度 \$u\$ 和物料初始速度 \$\bar{V}_n\$, 可以得到不同物料的不同系列轨迹。

3 清粮室参数的优化分析

假设谷物混合物中包含有小石头、饱满谷粒、不成熟谷粒和短茎秆, 它们的悬浮速度分别依次为 24、10、6.5、3(m/s)。倾斜气流清粮室的高度为 0.3 m, 长度为 1 m。以物料初始速度和倾斜气流速度为变量, 在 VB 平台上编制了程序进行优化分析。优化

目标是: 使短茎秆轨迹从清粮室右侧中上部穿过; 小石头落点在清粮室底部左端; 饱满谷粒落点在距清粮室底部左端 0.3 m 左右的位置; 不成熟谷粒的落点在距清粮室底部左端 0.7 m 左右的位置上。图 2 是优化结果, 此时物料初始速度为 2 m/s, 角度 10°, 倾斜气流速度为 21.5 m/s, 角度 0。

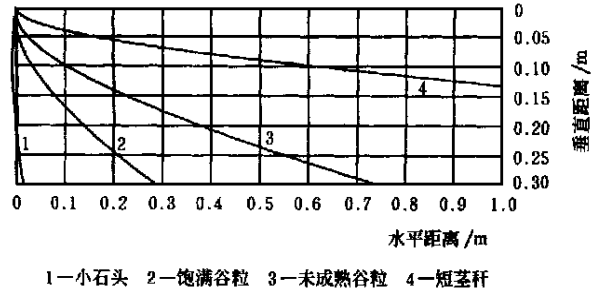


图 2 优化的物料轨迹

Fig. 2 The optimum loci of four materials

以图 2 各物料落点作为标准, 优化得到的物料初始速度的大小、方向和气流速度的大小、方向中的 3 个参数作为定值, 一个参数作为变量, 计算各物料落点相对于标准的偏移。落点变化时, 各物料相对目标中心的偏移是向左为负, 向右为正; 而对短茎秆向下偏移为负, 向上为正。物料初始速度大小、方向和气流速度大小、方向对物料落点的影响如图 3 所示。

由图 3b 可知, 改变物料初始速度方向对小石头落点变化最为显著, 对饱满谷粒的落点也较显著, 对不成熟谷粒则不太显著, 特别当角度大于 10 时, 饱满谷粒和不成熟谷粒两落点之间的距离在加大, 而对短茎秆的轨迹变化影响较小。因而初始速度方向的改变, 特别是大于 10 时, 可以使粮食的分级效果显著。

由图 3a、3c、3d 可知, 不成熟谷粒受物料的初始速度大小和气流的速度大小、方向影响较显著; 图 3d 可知, 改变气流速度方向, 对饱满谷粒落点影响较小, 而对短茎秆轨迹影响较大。在一定范围内, 气流方向角减小, 会引起短茎秆向下偏移较大, 清洁度降低; 方向角增大, 损失率会相应增大。如果未成熟谷粒的损失较大, 则可以增大物料初始速度, 使未成熟谷粒落点大大左移, 损失减少, 而短茎秆下移很小 (图 3a)。

以上分析可以看出: 在实际工况中, 当清选效果不理想时, 人们可以调整某个或几个参数, 得到最佳实际清粮效果。考虑到大量物料进入清粮室, 气流动压头降低, 与理论优化结果会产生差异, 因此气流速

度应相应提高。以上分析对气流清选装置参数的设

计和调整具有参考作用。

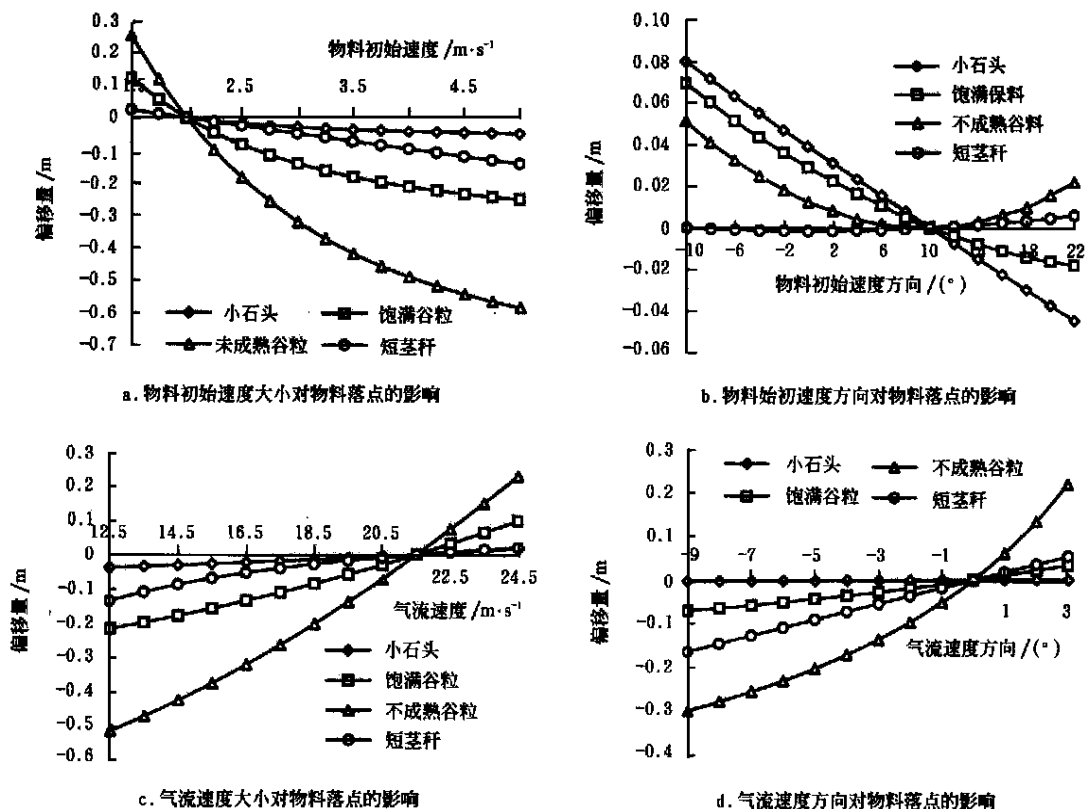


图 3 物料初始速度和气流速度对物料落点的影响

Fig 3 Effects of the initial velocity of materials and the airflow velocity on the fall point of the materials

4 结论

在全喂入联合收获机中, 气流清选是保证清选质量的主要工艺环节。根据以上理论分析, 在气流中物料各成分有自己的运动轨迹, 只要气流参数选择合适, 短茎秆和颖壳等应该被吹出机外。但实际上, 在收获的粮食中, 却含有较多的短茎秆等轻杂物。我们在杭州萧山对全喂入联合收获机的气流清选部分进行了测试: 用金属网格将风机出口横向分为 6 个格, 上下分为 4 个格, 总共分成 24 个区域。测试结果是中间流速高、两边低, 下高上低, 最高流速是最低流速的 5.09 倍。由图 3 的 c、d 理论分析曲线和实测结果表明, 气流速度大小、方向对不成熟谷粒和短茎秆轨迹影响较大, 低速气流势必造成短茎秆的轨迹落点向下偏移, 容易落入机内, 太高的流速使得谷粒的轨迹落点右移, 并吹出机外。可见, 气流速度是影响清洁率和清粮损失的主要原因。建议调整气流的速度, 尤其是清粮风道横截面的气流速度的均匀性, 最好以贯流风机取代离心风机, 贯流风机出口气流左右均匀性较好。在田间作业中, 清选装置的负荷往

往是变化的, 从而引起气流的动压头较大的变化, 由图 3c 可以看出, 气流速度变化对谷粒的落点影响较大, 而任意增大气流速度又会使谷粒飞出机外, 造成落粒损失。因此建议设置风量自动调节机构, 由喂入量传感器控制, 以获得最佳气流的组合。

以上模型的计算和分析, 在精度和参数优化方面较以往的有了较多改进, 把气流、物料的运动及其关系在 VB 平台上以图形显示, 可以方便地模拟物料在气流场中的运动状态, 并根据实际情况优化和调整气流清选装置的参数。

[参考文献]

- [1] 赵 匀. 农业机械计算机辅助分析和设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998
- [2] 赵学笃, 张魁学. 谷物脱出物的无筛气流清选[J]. 吉林工业大学学报, 1981(1): 66~ 77.
- [3] 赵学笃, 张魁学, 张振京. 短茎秆的气动特性及其气流中的运动[J]. 农业机械学报, 1982, 13(2): 55~ 65
- [4] Frarran G, Macmillan R H. Grain & chaff separation in a vertical air stream [J]. Japan Agri Research, 1973, 24

Dynam ical Property, Loci and Separating of Materials in Inclined Airflow Device

Li Ge, Zhao Yun, Yu Gaohong

(College of Agricultural Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract Based on the research of the dynamic equation of material in inclined airflow, more precise dynamic model was developed in the article. By means of numerical evaluation, motion loci of materials, single factor relation curve of the airflow velocity and material velocity were calculated in the grain cleaning chamber of inclined airflow. And by the analysis of the curves, the article points out how to adjust the parameters and to make an airflow cleaning device to optimum work conditions in practice.

Key words material cleaning; airflow separating; air dynamics

第二届国际可持续农业会议 (征集论文)

由联合国粮农组织、国际可持续农业和资源管理理事会和中国科学院植物研究所共同发起主办、中国农业工程学会协办的第二届国际可持续农业会议将于2002年9月8~13日在北京举行。会议的主题为: 发展可持续农业, 为人类提供更多的食物、能源和工业原料。

此次会议的目的是为全世界从事可持续农业研究的科学家和一切为农业可持续发展而奋斗的工作者提供一个讲坛, 交流1997年不伦瑞克会议以来在生物多样性、植物育种、基因工程及生物技术, 热带雨林土地的可持续利用, 沙漠化的防止, 土地、水、资源的管理与利用, 可再生能源的开发与利用, 在可持续增长情况下土壤、植物、微生物的相互作用, 可持续发展的因素及资源的管理, 温室效应的防止及环境保护等方面所取得的新成就, 并展示我国在这些方面所取得的进展和成果。

通过交流, 使有关领域在科学上所取得的最新成果得以在国外应用与推广, 届时将发表“北京宣言”。

会议论文集将用英文于会前出版, 因此敬请与会代表于2002年5月31日以前将论文的英文稿及中文稿用Word 97或Word 2000录入, 编辑后用电子邮件一并发给黎大爵教授, 电子信箱为: lidajue@hotmail.com。论文参照杂志“Crop Sciences”式样撰写, 长度包括图表、照片及参考文献, 限7页, 照片一律用黑白照片。

联系地址: 中国科学院植物研究所

邮 编: 100093

联系人: 范增兴

电话及传真: 010282593128

电子信箱: ISAConfe@hotmail.com

国际域名: <http://www.ISAConfe.org>