

# 砉谷机振动喂料器中物料流的离散元模拟及试验研究

Discrete element simulation and experiment research of material flow in rubber roller husker vibrating feeder

贾乐乐 阮竞兰

JIA Le-le RUAN Jing-lan

(河南工业大学机电工程学院, 郑州 河南 450007)

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450007, China)

**摘要:**利用离散元分析软件 EDEM, 建立砉谷机振动喂料器和稻谷颗粒的模型, 设置相应的参数, 对振动喂料器中物料流进行离散元模拟。仿真出理论参数下单颗粒物料的平均运动速度大致为 0.22 m/s, 整个物料流的平均运动速度约为 0.24 m/s, 得出各颗粒的运动轨迹, 分析其喂料均匀性。采用 GM63B 型测振仪, 测定试验喂料器中不同振幅下物料流的运动速度, 验证模拟结果的可行性, 为新型振动喂料器中物料的运动分析提供参考。

**关键词:**砉谷机; 振动喂料器; 物料流; 离散元模拟; 试验研究

**Abstract:** The models of Rubber Roller Husker Vibrating Feeder and rice particle are obtained through the discrete element analysis software EDEM. Simulate the movement of material flow in the vibrating feeder by setting up the corresponding parameters. The average speed of single particle is 0.22 m/s roughly under the theoretical parameters, and the average velocity of material flow is around 0.24 m/s. The trajectory is achieved and the feeding uniformity is discussed. In order to verify the feasibility of the simulation results, adopt vibration meter GM63B to measure the actual velocity of material flow under the different amplitude in the experimental vibrating feeder, which can provide reference for analysis of material flow in the new vibrating feeder design.

**Keywords:** the rubber roller husker; vibrating feeder; material flow; the discrete element simulation; experiment research

砉谷机振动喂料器由喂料槽、激振器、主振弹簧、底座和隔振弹簧组成, 不仅可以增加喂料量, 也可以较好地保持物

料的运动形态, 大大增加砉谷机的整机产量和砉谷效率。通过离散单元法将振动料槽中的物料流进行离散元分析, 能够得出稻谷颗粒在不同时刻的运动形式, 直观反映其运动形态, 可为实际振动料槽中物料的运动分析提供依据。

离散单元法(discrete element method, DEM), 是继有限元法、计算流体力学之后, 又一种强有力的数值计算方法, 用于分析物质系统动力学问题。它把分析对象看成充分多的离散单元, 赋予各单元某种力学模型, 并对该模型进行参数设置, 根据力与位移关系和牛顿第二定律, 以迭代计算的方法对接触单元进行接触力计算, 求解单元的位移、速度及加速度, 并更新其他单元的位置, 通过各个单元的微观运动, 来研究整个系统的宏观运动规律, 主要用来解决涉及颗粒、结构和流体等的综合问题<sup>[1]</sup>。目前, DEM 应用逐渐成熟, 已从散体力学的研究、岩土工程应用等拓展至工业产品的设计与研发, 并在诸多领域取得了重要成果<sup>[2]</sup>。本研究拟通过离散元分析软件 EDEM, 对砉谷机振动喂料器中物料流的运动进行模拟仿真, 分析颗粒运动速度和轨迹, 旨在为进一步理解振动料槽中物料流的运动规律和喂料特性提供帮助。

## 1 物料流的离散元模拟

### 1.1 砉谷机振动喂料器的模型建立

根据砉谷机工作参数配置及实际测绘<sup>[3]</sup>, 利用 Pro/E 软件对振动喂料器各部件进行三维建模和装配, 要求各零件之间无干涉现象, 得到振动喂料器模型(如图 1 所示), 其振动方向角 20°, 料槽倾角 5°, 采用的激振频率为 50 Hz, 产生的振幅为 0.64 mm。

本研究着重介绍喂料器中物料流的离散元模拟, 舍去模型中次要部分, 简化后仿真模型见图 2。将该装配模型保存为 IGES 形式, 并导入离散元分析软件 EDEM 中, 对模型中的各零件进行布尔操作, 使其成为统一整体。

**基金项目:** 国家“十二五”科技支撑计划项目(编号: 2012BAD34B06)

**作者简介:** 贾乐乐, 男, 河南工业大学在读硕士研究生。

**通讯作者:** 阮竞兰(1958—), 女, 河南工业大学教授。

E-mail: ruanjl@126.com

**收稿日期:** 2015-11-30

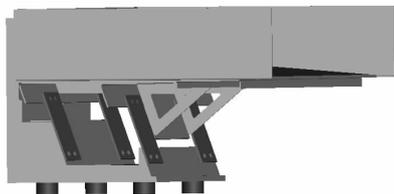


图1 振动喂料器三维模型

Figure 1 The 3D model of vibrating feeder

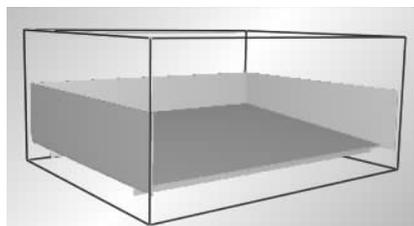


图2 简化后的仿真模型

Figure 2 The simplified simulation model

### 1.2 稻谷颗粒的模型建立

通过对多个试验稻谷颗粒样本进行几何参数测量,其稻谷颗粒模型可视为长度为7.8 mm,宽度为2.8 mm,厚度为2 mm的三维椭球形体,可由多个不同半径的球形体组合而成<sup>[4]</sup>,建立与实际相吻合的颗粒近似模型,见图3。

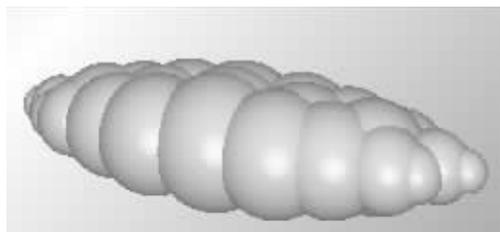


图3 稻谷颗粒模型

Figure 3 The rice grain model

颗粒的简化模型分为软球模型和硬球模型。软球模型采用弹性系数和阻尼系数对颗粒间接触力进行简化处理,通常假设在整个接触过程中各参数保持不变,在进行离散元分析时,忽略加载历史,计算量较小,适用范围较广<sup>[5]</sup>。本研究仿真中采用软球模型。为简化分析过程,不计稻谷颗粒之间的接触变形,且认为在颗粒运动时无附加阻力,并将稻谷颗粒视为干颗粒模型,其接触模型设置为 Hertz-Mindlin 无滑动接触模型。

### 1.3 参数设置

对颗粒 (particle) 和钢材质的料斗 (steel) 进行物理参数设置和接触参数设置,参数值设置方法参考文献<sup>[6]</sup>,根据稻谷以及钢的物理特性,对振动喂料器模型进行运动参数设置,其参数值见表1、2。施加料槽整体的振幅及其激振频率,设置相应的网格属性,添加与实际相符合的重力加速度等。

## 2 结果与分析

根据喂料器进料的实际位置建立颗粒工厂(图4),并对其初始条件进行设置。为保证仿真的连续性,设置固定的时

表1 物理参数设置

Table 1 The physical parameters setting

材料	泊松比 $\epsilon$	弹性模量 $E$	密度 $\rho / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	备注
稻谷	0.30	$1.815 \times 10^8$	1 670	与实际值相符
钢	0.28	$8.200 \times 10^8$	7 890	常用钢材

表2 接触参数设置

Table 2 The contact parameters setting

接触物质	恢复系数	静态摩擦系数	动态摩擦系数
稻谷—稻谷	0.30	0.56	0.15
稻谷—钢	0.52	0.50	0.10

间步长为5%~40%,定义相应的网格尺寸,对模型进行运动仿真,图4为振动喂料器的简化形式,并根据实际情况附加颗粒工厂,添加重力加速度<sup>[7]</sup>,得到的物料流的运动形式见图5。

### 2.1 单颗粒物料运动仿真分析

随机标记任一颗粒,对其运动过程进行离散元模拟,根据 EDEM 软件中离散元分析界面的可视化功能,得出单颗粒物料的运动轨迹见图6,仿真出该颗粒运动过程中的理论平均运动速度为0.22 m/s<sup>[8]</sup>,且该颗粒物料沿着料槽的表面向下运动。由图6可知,该颗粒的运动轨迹出现现微波动,这是由于喂料器模型的装配误差使其在横向方向上的振动造成的,在实际安装过程中,其装配误差可适当提高振动喂料器的散料能力。

### 2.2 颗粒群运动仿真分析

对物料流整体进行离散元模拟,得到各个颗粒的运动轨迹以矢量的形式表示,见图7。根据颗粒的运动仿真结果,稻谷首先进行自由落体运动,然后与料槽发生碰撞,在振动喂料

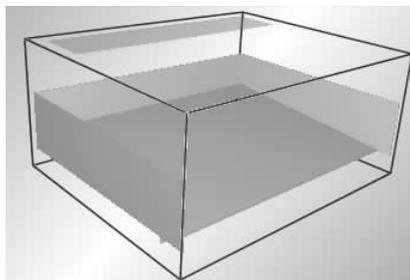


图4 颗粒工厂设置

Figure 4 The particle factory setting

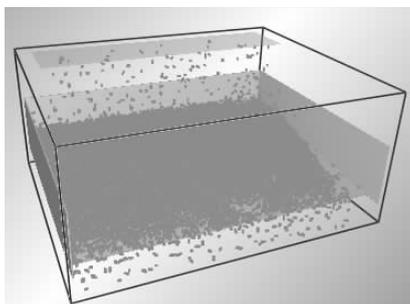


图5 颗粒运动仿真结果

Figure 5 The material flow simulation result

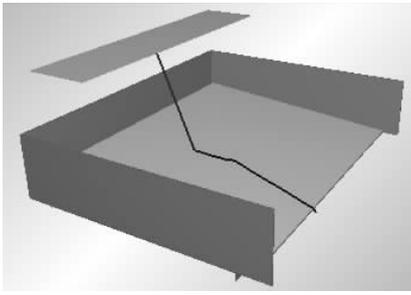


图 6 单颗粒运动轨迹

Figure 6 The single particle trajectory

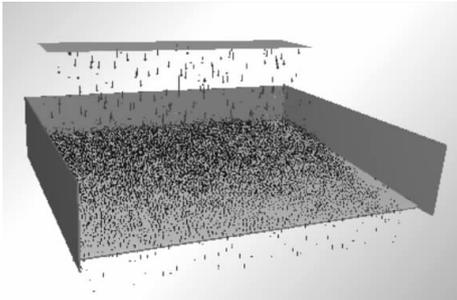


图 7 物料流运动轨迹

Figure 7 The material flow trajectory

器中, 稻谷排列紧密且沿着其自身长轴方向向下运动, 料槽中物料流的厚度最终趋于一致, 达到的最终喂料速度约为 0.24 m/s。

### 2.3 喂料均匀性分析

通过颗粒群在不同速度范围内颗粒数目的直方图以及在不同速度范围内的散点图, 反应物料在不同位置的颗粒分布。由仿真结果得出, 物料处于理论输送速度附近的颗粒数较多, 且处在料槽出口处, 不同位置的颗粒数大致相同, 说明该振动喂料器喂料均匀性良好。

## 3 试验对比分析

### 3.1 试验设备

为了进行试验对比分析, 采用与砻谷机振动喂料器结构原理相同的 G 型电磁振动喂料器, 由 XKZ5-5G2 型电控箱控制, 其试验机参数见表 3。通过调节电控箱供电电流的大小来控制喂料器的振动幅值, 从而改变物料的输送速度; 料槽振幅的测量工具为 GM63B 型测振仪, 其位移测量范围为 0.001~1.999 mm。

### 3.2 结果与分析

由于试验条件的限制, 采用的输入激振频率 50 Hz, 料槽倾角 0°, 激振角 20°, 料槽宽度 200 mm, 稻谷样品容重 590 g/cm<sup>3</sup>。同时采用 GM63B 型测振仪附加短探头, 测出不同电流值下料槽的振幅, 对应得出不同振幅下物料的运动速

表 3 试验机参数

Table 3 The parameters of experiment model

供电电 压/V	功率/ W	生产率/ (t · h <sup>-1</sup> )	工作电 流/A	振动频 率/Hz	控制 方式
220	60	5	≤1	50	半波整流

度。利用 MATLAB 软件, 绘制出试验测得的数据, 对其进行二次拟合, 所得拟合曲线见图 8, 图中虚线为各振幅下的实测速度, 实线为其拟合曲线。

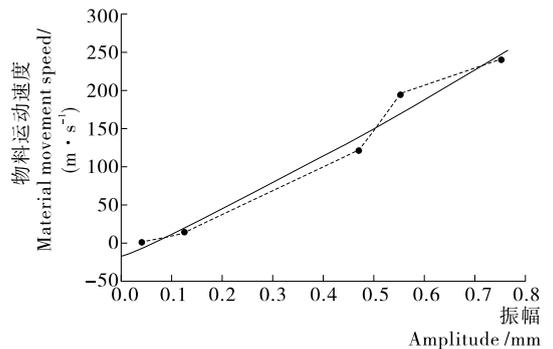


图 8 物料的运动速度随振幅的变化曲线

Figure 8 The change curve of material velocity to amplitude

由图 8 可知, 当振幅为 0.64 mm 时, 物料的运动速度大约为 0.2 m/s, 与模拟仿真出的喂料速度相近, 说明仿真结果具有一定的参考性。测得的物料运动速度略小于模拟仿真出的速度, 这是由于试验条件不能够满足料槽倾角的要求, 以及实际喂料中存在摩擦力等因素造成的。

## 4 结论

本研究对砻谷机振动喂料器中物料流进行离散元模拟, 仿真出料槽振幅为 0.64 mm 时, 单颗粒物料的平均运动速度为 0.22 m/s, 物料流的平均运动速度为 0.24 m/s, 并对物料的运动形式及其喂料均匀性进行分析。结合试验, 测定在不同振幅下试验用 G 型电磁振动喂料器输送物料的速度, 并对试验数据进行拟合处理, 验证模拟分析的可靠性, 为新型砻谷机振动喂料器的设计及其振动料槽中物料的运动分析提供依据。

### 参考文献

- [1] 刘凯欣, 高凌天. 离散元法研究的评述[J]. 力学进展, 2003(4): 483-490.
- [2] 徐泳, 孙其诚, 张凌, 等. 颗粒离散元法研究进展[J]. 力学进展, 2003(2): 251-260.
- [3] 伍毅, 阮竞兰, 伍维维, 等. 胶辊砻谷机工作参数配置优化研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(3): 182-186.
- [4] 姜鹏. 基于离散元法的碾米机三维仿真分析[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013: 38-40.
- [5] 王国强, 郝万军. 离散单元法及其在 EDEM 上的实践[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2010: 16-25.
- [6] 于亚军. 基于三维离散元法的玉米脱粒过程分析方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013: 105-111.
- [7] Zhang Rui, Els D N J. Calibration of discrete element parameters and the modeling of silo discharge and bucket filling[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 65: 198-212.
- [8] 赵啦啦. 振动筛分过程的三维离散元法模拟研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2010: 77-119.