

# 基于离散元法砂辊碾米机碾白室内物料运动仿真

## Motion simulation on materials inside whitening chamber of sand-roller rice machine based on discrete element method

庞晓霞<sup>1,2</sup>

阮竞兰<sup>1</sup>

PANG Xiao-xia<sup>1,2</sup> RUAN Jing-lan<sup>1</sup>

(1. 河南工业大学, 河南 郑州 450007; 2. 郑州城市职业学院, 河南 郑州 452370)

(1. Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450007, China;

2. City University of Zhengzhou, Zhengzhou, Henan 452370, China)

**摘要:**以立式砂辊碾米机为例,运用离散元法分析软件 EDEM 对碾白室内物料运动过程进行仿真计算。建立碾白室和糙米籽粒的离散模型,设置相应的参数,对砂辊碾米机碾白室内物料流进行离散元模拟。得出碾白过程中糙米籽粒运动轨迹曲线、受力大小,将这些数据以图表形式显示便于分析仿真结果,研究成果为研究碎米产生机理提供了参考依据。

**关键词:**砂辊碾米机;离散元;物料运动;运动轨迹

**Abstract:** Taking the vertical sand-roller rice milling machine as an example, this paper carries out the simulation calculation of the materials' movements inside the whitening chamber based on the discrete element method via the analysis software EDEM. The study sets up the discrete model of the whitening chamber and the brown rice with corresponding parameters and performs the discrete element simulation on material flows inside the whitening chamber; for the convenience of the analysis, the data of the motion locus curve and the force on the brown rice during the whitening process are presented with charts. These simulation results would provide references for the study of the generating mechanism of broken rice.

**Keywords:** sandy roller milling machine; discrete element method; materials' movement; motion locus

碾米机是大米加工中关键主机设备,粮食加工业正在向集约化、规模化方向发展,在保证稳定性前提下,还要求碾米设备需具备较高产量。碾米机碾白室内部结构及参数对其性能有直接影响,目前国内外针对碾白室内糙米运动情况的研究较少<sup>[1]</sup>,普遍以单颗粒运动代替颗粒群体进行运动研

究,多采用经验与类比方法进行分析,仅进行一些定性的分析研究,因而碾白室内米粒群体运动状态无法准确得知,米粒与碾白室构件之间产生的摩擦力,以及米粒与米粒之间产生的摩擦力没有定量分析研究,未见有文献报道。随着科学技术水平的快速发展,离散元法引入中国,最初主要应用于对岩土力学和颗粒系统进行数值模拟<sup>[2]</sup>,近年已将离散元法应用于农业工程实际中<sup>[3]</sup>,模拟土壤颗粒间的作用力<sup>[4]</sup>及播种施肥开沟器的工作过程与工作阻力<sup>[5]</sup>,为农业工程领域提供一种新兴的散体分析方法。中国引入离散元法理论至今,其应用领域逐步扩大,目前已开始应用于粮食机械中<sup>[6]</sup>,本研究拟采用离散元法对砂辊碾米机碾白室内糙米颗粒运动进行仿真,先通过三维软件 Proe 建立碾白室几何模型,经 EDEM 前处理模块将碾白室模型导入,利用 EDEM 软件中 Particle 工具对糙米籽粒进行参数化建模,在此基础上对糙米颗粒群体的运动轨迹进行分析,从而得出糙米颗粒群体在碾白室内所受压力大小分布及运动轨迹,旨在为碾米机的改进创新提供理论依据。

### 1 砂辊碾米机碾白室离散元模型

碾白室内主要工作部件有砂辊、米筛等,米筛安装在砂辊外围,砂辊和米筛之间的间隙称之为碾白室。

#### 1.1 碾白室离散模型

碾米机工作过程中,糙米由进料口经分料器进入螺旋推进器,随推进器输送到碾白室。碾白室内借助砂辊高速旋转,金刚砂辊筒表面密集砂刃对糙米不断施加碾削作用,使糙米得到碾白。砂辊碾米机碾白室内部结构较复杂,采用组合法、函数建模法建立边界模型是较困难的<sup>[7]</sup>。为了便于仿真分析,忽略碾白过程中不与糙米接触的构件,同时将与糙米接触构件的几何模型进行简化。本研究采用基于 Proe 模型的建模方法<sup>[8]</sup>,简化后碾白室离散模型见图 1。

**基金项目:**2016 年河南省高等学校重点科研项目(编号:16A46002)  
**作者简介:**庞晓霞,女,郑州城市职业学院教师,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:**2015-05-17

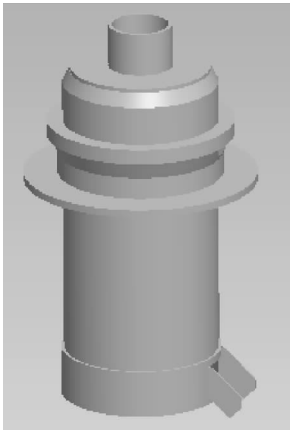


图 1 碾白室简化模型

Figure 1 Simplified model of the whitening chamber

1.2 糙米籽粒模型

梗糙米粒呈椭圆形或卵圆形,籽粒强度高,耐压性能较好,加工时不易产生碎米。本研究采用加工性能较好的梗糙米,对糙米颗粒采用粘结颗粒法进行建模<sup>[9]</sup>,糙米籽粒模型见图 2。

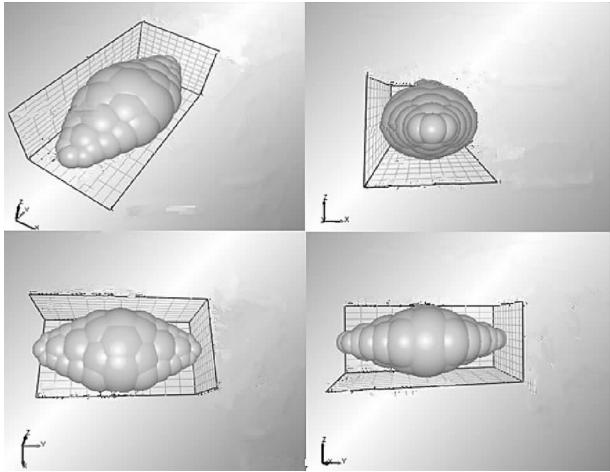


图 2 糙米籽粒模型

Figure 2 Brown rice grain model

1.3 接触模型

砂辊碾米机碾白室内糙米籽粒与工作部件间发生碰撞,且籽粒间存在相互接触、摩擦,籽粒与工作部件及籽粒之间不存在粘结现象。离散元法仿真计算中接触模型的选取将直接影响仿真模拟结果。依据碾白室内糙米籽粒运动及糙米的接触方式,本研究采用 Hertz-Mindlin 无滑动接触模型来研究分析碾白室内糙米颗粒的运动情况。

2 离散元仿真分析

离散元法基本思想就是把不连续体分离成刚性元素的集合,使各个刚性元素满足运动方程,用实步迭代的方法求解各刚性元素的运动方程和整体运动形态<sup>[10]</sup>。随着离散元软件不断被开发应用,已逐步将离散元法应用于农业工程实际应用,如谷物清选、干燥及输送等,为农业工程领域提供一种新兴的散体分析方法。

离散元仿真计算过程中参数设置:

(1) 设置重力方向:碾白室内糙米籽粒有一定质量,重力会给糙米籽粒施加向下作用的力,因此在仿真计算过程中重力作用不能忽略不计。将砂辊碾米机碾白室模型导入 EDEM 时,可知 Z 轴负方向为重力方向。

(2) 定义接触属性:糙米与糙米及碾白室工作部件间发生碰撞、摩擦等,仿真分析中糙米籽粒与相互作用材料之间的碰撞恢复系数及动、静摩擦系数。糙米籽粒的力学特性对仿真结果的影响至关重要,其材料间接触属性见表 1。

表 1 材料接触属性

Table 1 The material contact properties

| 相互作用  | 碰撞恢复系数 | 静摩擦系数 | 动摩擦系数 |
|-------|--------|-------|-------|
| 米粒—米粒 | 0.30   | 0.56  | 0.15  |
| 米粒—钢板 | 0.52   | 0.50  | 0.10  |
| 米粒—砂纸 | 0.45   | 0.61  | 0.24  |

(3) 颗粒工厂:模拟仿真中生成颗粒的位置、数量及生成方式是通过设置粒子工厂面板实现的。由于本次仿真中使用计算机资源有限,仿真过程中颗粒数目过多会延长仿真计算时间。因此本试验定义糙米颗粒为动态生成并设置每秒生成糙米颗粒数量为 2 000 粒。

(4) 仿真计算:设置碾白砂辊的运动特性为线性旋转,对于碾白砂辊的转速可参考邓志国等<sup>[11]</sup>在立式砂辊碾米机安装及维护中所使用的运动参数。选取的时间步长及网格尺寸是否合理直接影响仿真计算结果的准确性。为了缩短仿真计算时间,可设置较大的时间步长和适当增大网格单元尺寸,但要确保仿真结果的正确性及运行稳定性。

3 仿真结果分析

3.1 仿真模型观察

仿真计算结束后,可进入 EDEM 后处理模块,采用颜色属性设置更有利于窗口显示出碾白室内糙米的运动情况。仿真计算结束后糙米颗粒在 1.3 s 时的运动状态,见图 3。

3.2 追踪籽粒受力分析

将碾白室内籽粒进行标记,通过对某一籽粒进行追踪,



图 3 糙米颗粒在 1.3 s 时的状态图

Figure 3 The state diagram of brown rice at 1.3 s

得出该籽粒在碾白室内受力数据。对籽粒受力数据进行分析,为籽粒在碾白室内是否得到碾白提供理论依据。图 4~6 分别为 ID2894 籽粒在 X、Y、Z 轴上受力大小随时间变化折线图,图中横坐标为籽粒运动时间,纵坐标为籽粒受力大小。ID2894 籽粒在碾白室内多次受力作用得到碾白,且籽粒受力分布于不同的碾白运动时间段。

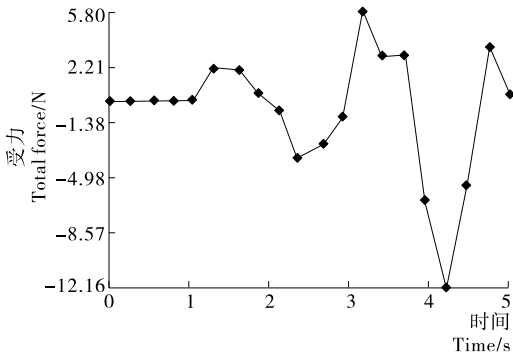


图 4 X 轴受力随时间变化图

Figure 4 The variation diagram of X axis suffered force along with time

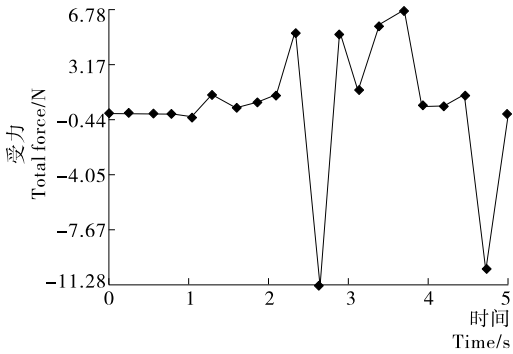


图 5 Y 轴受力随时间变化图

Figure 5 The variation diagram of Y axis suffered force along with time

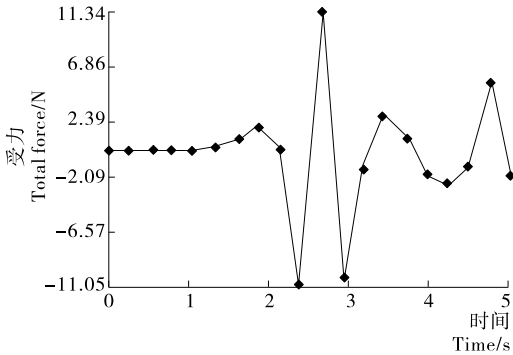


图 6 Z 轴受力随时间变化图

Figure 6 The variation diagram of Z axis suffered force along with time

3.3 籽粒运动轨迹

将碾白室内颗粒进行标记,设置米粒以流线型显示仿真时间内所有时间步长,从而导出某一标记颗粒在碾白室内的运动轨迹,其轨迹曲线可真实反映糙米籽粒在碾白室内的运

动路线。由图 7 可知,籽粒的运动轨迹在碾白室中出现折线,说明此刻籽粒与碾辊或米筛发生碰撞,使得籽粒运动轨迹发生改变。

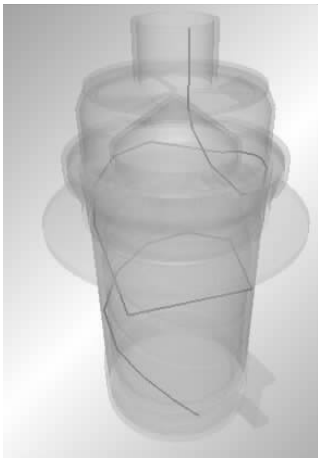


图 7 ID2437 糙米颗粒运动轨迹

Figure 7 The trajectory of brown rice with ID2437

4 结论

本研究仅对一种型号砂辊碾米机碾白室内物料运动过程进行了仿真分析,得出以离散法计算为基础的物料运动仿真结果,可确定将离散元法运用到仿真分析碾白室内物料运动过程是可行的。

参考文献

[1] 孙旭清, 钱生波, 万希武. 砂辊碾米机碾白室内压力及其他主要技术参数与结构探讨[J]. 粮食与饲料工业, 2008(2): 6-10.

[2] 王泳嘉. 离散单元法——一种适用于节理岩石力学分析的数值方法[C]//中国岩石力学与工程学会. 第一届全国岩石力学数值计算及模型试验讨论会论文集. 北京: 高等教育出版社, 1986: 32-37.

[3] 李博, 刘凡一, 陈军, 等. 深松铲耕作阻力影响因素的离散元法仿真分析[J]. 农机化研究, 2015(3): 71-74.

[4] Rui Zhang, 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.

[5] 于建群, 钱立彬, 于文静, 等. 开沟器工作阻力的离散元法仿真分析[J]. 农业机械学报, 2009(2): 53-57.

[6] 徐登峰, 成荣, 朱煜, 等. 基于离散元方法的粮食自动分级研究[J]. 江苏农业科学, 2015(4): 396-399.

[7] 李洪昌, 李耀明, 唐忠, 等. 风筛式清选装置振动筛上物料运动 CFD-DEM 数值模拟[J]. 农业机械学报, 2012(3): 79-84.

[8] 李立青, 蒋明镜, 吴晓峰. 椭圆形颗粒堆积体模拟颗粒材料力学性能的离散元数值方法[J]. 岩土力学, 2011(4): 713-718.

[9] 郭敬山. 组合玉米和组合超球颗粒模型的三维离散元法算法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010: 23-27.

[10] 胡国明, 郭胜, 陈金鑫, 等. 离散元素法在工业过程分析与产品设计中的应用初探[J]. 机电工程, 2010(4): 1-5.

[11] 邓志国, 杨胜男. 立式砂辊碾米机的安装使用及维护[J]. 粮食与饲料工业, 2013(2): 1-3.