

基于 DEM 离散元技术的玉米 直线振动筛仿真分析

Analysis and simulation of corn vibrating screen based on DEM

王 秉

WANG Bing

(河南交通职业技术学院航海系, 河南 郑州 450005)

(Maritime Department of Henan Vocational and Technical College of
Communications, Zhengzhou, Henan 450005, China)

摘要:目的: 分析物料颗粒在直线振动筛面上的运动情况, 以便直线振动筛的机构优化。方法: 基于离散单元法, 采用 EDEM 软件对直线振动筛面上物料颗粒的运动情况进行仿真分析。以堆积角为响应, 采用批处理的形式对仿真物料颗粒的离散元仿真参数进行校准; 采用 SolidWorks 软件建立直线振动筛的三维模型, 以物料在筛网面的下落高度、物料颗粒的形状尺寸为变量, 以物料颗粒在筛网面上运动的平稳程度为指标, 通过仿真, 观察物料颗粒在筛网面的运动速度及位置分布情况。结果: 单球形颗粒的速度分布相对较大, 在达到振动筛分平稳阶段, 单球形玉米颗粒的速度分布相对稳定, 颗粒跳动现象明显减少。双球形玉米颗粒的速度分布相对较小, 在达到筛分的稳定阶段, 双球形玉米颗粒的位置跳动比较明显。双球形玉米颗粒在振动筛面的速度明显低于单球形玉米颗粒, 不同下落高度的单球形玉米颗粒对振动筛分有一定的影响。结论: 在对直线型振动筛分设计过程中, 不同的高度, 不同的颗粒形状对筛分的效率都有较大的影响, 基于离散元法可以有效地分析物料振动筛分情况。

关键词: 离散元; 振动筛; 玉米颗粒; 参数校准; 堆积角

Abstract: **Objective:** Analyze the movement of the material particles on the linear vibrating screen to optimize the mechanism of the linear vibrating screen. **Methods:** Based on the discrete element method, the EDEM software is used to simulate and analyze the movement of the material particles on the linear vibrating screen. In response to the stacking angle, the discrete element simulation parameters of the simulated material particles

were calibrated in the form of batch processing. The SolidWorks software was used to establish the three-dimensional model of the linear vibrating screen, and the material falling height on the screen surface and the shape and size of the material particles were used as Variable. Taking the smoothness of the material particles on the screen surface as an indicator, through simulation, observed the movement speed and position distribution of the material particles on the drying screen surface.

Results: The velocity distribution of the single spherical particles was relatively large. After reaching the stable stage of vibrating screening, the velocity distribution of the single spherical corn particles was relatively stable, and the particle beating phenomenon was significantly reduced. The velocity distribution of the double-spherical corn particles was relatively small, and the position of the double-spherical corn particles fluctuated more obviously after reaching the stable stage of sieving. The speed of double-spherical corn particles on the vibrating screen was significantly lower than that of single-spherical corn particles, and single-spherical corn particles with different falling heights had a certain effect on the vibrating screen. **Conclusion:** In the design process of linear vibrating screening, different heights and different particle shapes have a greater impact on the screening efficiency. Based on the discrete element method, the vibrating screening of materials can be effectively analyzed.

Keywords: discrete element; vibrating screen; corn kernels; parameter calibration; stacking angle

在粮食物料的筛分工序, 振动筛分的过程中, 物理颗粒的运动情况非常复杂, 实际的试验不能直接测定及观察物料颗粒的微观运动情况, 如物料颗粒的运动速度方向、位置等^[1]。研究^[2]表明在玉米颗粒的振动筛分中, 物料颗粒的运动速度及位置对振动筛分的效率有显著影响。李洪昌等^[3]为提高振动筛分的效率, 基于离散元法

基金项目: 河南省教育厅项目(编号: JYB2015037)

作者简介: 王秉(1965—), 男, 河南交通职业技术学院副教授, 硕士。E-mail: wbjtxy@163.com

收稿日期: 2021-07-02

对物料颗粒的振动筛分过程进行仿真分析,提出可通过提高振动的振幅和频率来提高振动筛分的效率。王中营等^[4]为优化振动筛分的最佳参数,基于 PFC 软件研究了筛分参数对筛分效果的影响,找到了最佳参数值。刘瑞等^[5]为探究玉米颗粒在直线振动筛面的运动情况,基于离散元法对玉米颗粒振动筛分进行分析,表明了不同形状的筛孔、下落高度和颗粒形状对筛分效果的影响。基于离散元法的振动筛分已有大量研究,但针对玉米物料的筛分效率分析研究相对较少,玉米颗粒种类繁多,即使同种玉米颗粒,形状也有较大差别,因此,建立精准的离散元仿真模型才能提高仿真的精确性。

研究针对物料颗粒在直线振动筛面上的运动情况,基于离散单元法,拟采用 EDEM 软件对直线振动筛面上物料颗粒的运动情况进行仿真分析,以期对直线振动筛的结构设计和参数优化提供参考。

1 直线振动筛分原理

直线振动筛采用双激振器驱动,当两台激振器做同步、反向旋转时,其偏心块所产生的激振力在平行于电机轴线的方向相互抵消,在垂直于电机轴的方向叠为一合力,因此筛机的运动轨迹为一直线。其两电机轴相对筛面有一倾角,在激振力和物料自重力的合力作用下,物料在筛面上被抛起跳跃式向前作直线运动,从而达到对物料进行筛选和分级的目的。

2 离散元仿真分析

2.1 仿真参数校准

2.1.1 物料实际参数 玉米颗粒采用郑丹 958,含水率 10.8%,颗粒密度为 $1\ 195\ \text{kg}/\text{m}^3$,种子类型、长宽高在 $10\ \text{mm}\times 8\ \text{mm}\times 6\ \text{mm}$ 。

2.1.2 仿真校准模型 玉米种子颗粒的形状较为复杂,根据相关参考文献^[6-8],采用球形颗粒与双球形颗粒对玉米颗粒的振动筛分过程进行仿真。为提高改变颗粒形状尺寸后仿真的精度,以堆积角为响应值,对玉米种子颗粒的离散元仿真参数进行标定。先采用堆积角测定仪器对玉米实际堆积角数值进行测定,测定 5 次,取其平均

值,得到玉米颗粒的堆积角为 30.05° 。离散元仿真校准试验采用坍塌试验对玉米颗粒的堆积角进行测定(图 2)。

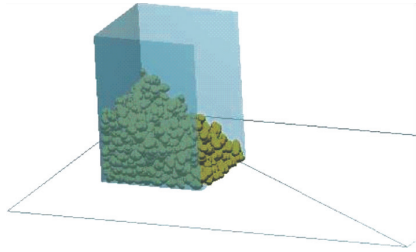


图 2 仿真坍塌模型图

Figure 2 Simulated collapse model

2.1.3 校准批处理 在批处理模式下,无需打开 EDEM 软件即可进行仿真模拟,但所有的仿真文件需进行预先计算。当一个模拟完成时,EDEM 会自动计算下一个文件,通过减少仿真前的设置来提高效率。模拟之前必须设置好各项的参数,仿真一旦开始,在批处理模式下不能就行参数修改,模拟不能在结束前查看或停止,直到仿真结束^[9-11]。通过堆积角以批处理的方式对玉米颗粒进行离散元校准后,得到研究所用玉米颗粒各仿真参数的取值如表 1 所示。

2.2 仿真模型

利用 Solidworks 软件建立直线振动筛的三维模型,另存为 step 格式,导入 EDEM 软件进行仿真。分别建立单球与双球形玉米颗粒模型,为节省仿真时间,结合相关文献^[12-13],颗粒仿真采用软球模型,颗粒生成方式为 Dynamic,仿真步长设为 $0.01\ \text{s}$,时间为 $5\ \text{s}$,仿真结束后,通过后处理中 Bin Groups 等工具进行分析,以单球形颗粒与双球形颗粒的速度及位置分布情况、不同单球形玉米颗粒下落高度振动筛面的运动平稳性进行分析。仿真模型如图 3 所示。

表 1 离散元仿真参数表

Table 1 Discrete element simulation parameter

仿真参数	单位	单球玉米颗粒	双球玉米颗粒
玉米密度	kg/m^3	1 195	1 195
玉米泊松比		0.4	0.4
玉米剪切模量	Pa	1.35×10^8	1.35×10^8
不锈钢密度	kg/m^3	7 850	7 850
不锈钢泊松比		0.25	0.25
不锈钢剪切模量	Pa	7×10^{10}	7×10^{10}
玉米—玉米恢复系数		0.175	0.168
玉米—玉米静摩擦系数		0.45	0.38
玉米—玉米滚动摩擦系数		0.07	0.06
玉米—不锈钢恢复系数		0.56	0.59
玉米—不锈钢静摩擦系数		0.52	0.68
玉米—不锈钢滚动摩擦系数		0.085	0.073

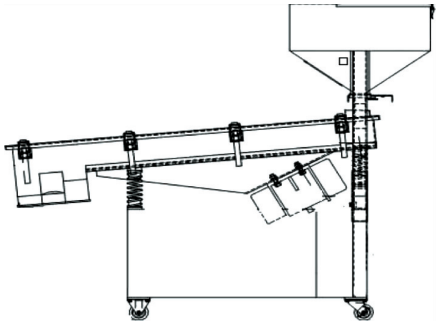


图 1 直线振动筛

Figure 1 Linear vibrating screen

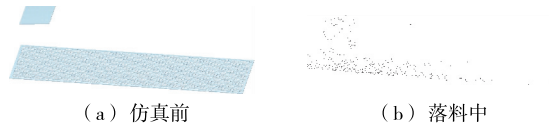


图 3 仿真模型图

Figure 3 Simulation model diagram

2.3 玉米颗粒形状对筛分效率的影响

2.3.1 球形颗粒 待仿真结束后,采用上色工具对球形玉米颗粒上色处理,观察各个时间点振动筛面上玉米的速度及位置分布状态,对玉米颗粒进行着色处理,如图 4 所示。

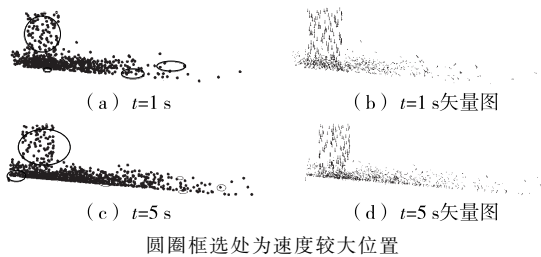


图 4 球形玉米颗粒振动状态图

Figure 4 Vibration state diagram of corn grain

由图 4 可知,单球形颗粒的速度分布相对较大,在达到振动筛分平稳阶段,单球形玉米颗粒的速度分布相对稳定,颗粒跳动现象明显减少。

2.3.2 双球形简单组合状 待仿真结束后,采用上色工具对双球形玉米颗粒上色处理,观察各个时间点振动筛面上玉米的速度及位置分布状态,对玉米颗粒进行着色处理,如图 5 所示。

由图 5 可知,双球形玉米颗粒的速度分布相对较小,在达到筛分的稳定阶段,双球形玉米颗粒的位置跳动比较明显。结合图 4 可知,单球形颗粒在振动筛分中运动相对较为平稳,对振动筛的筛分更加有利。单球形颗粒主要对应类球型的玉米颗粒形状,在类球型玉米颗粒占比较大的情况下,筛分效率会相对较高。

2.4 物料颗粒下落高度对筛分效率的影响

待仿真结束后,采用上色工具对单球形玉米颗粒上

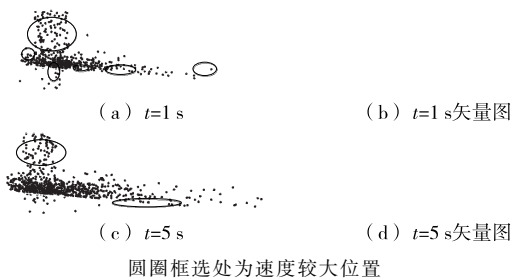


图 5 双球形玉米颗粒振动状态图

Figure 5 Vibration state diagram of corn grain

色处理,观察不同高度的单球形玉米颗粒各个时间点振动筛面上的速度及位置分布状态,对玉米颗粒进行着色处理,如图 6 所示。

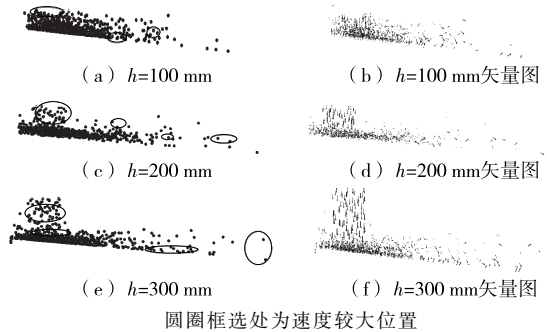


图 6 不同高度的振动状态图

Figure 6 Diagrams of vibration state at different heights

由图 6 可知,针对单球形玉米颗粒的速度分布情况,随着玉米颗粒下落高度的增加,单球形玉米颗粒的速度分布情况较为散乱,相对速度有所增加,由此可知,过高的下落高度不利于振动筛分的稳定性。针对单球形玉米颗粒的位置分布情况,在高度逐渐增加的同时,单球形玉米颗粒在振动筛面的跳动随之增加。由此可知,虽然类球型玉米颗粒的振动稳定性相对较好,但过高的下落高度同样不利于玉米颗粒的稳定,影响筛分的效率。

3 结论

采用 SolidWorks 软件建立直线振动筛的三维模型,以物料在筛网面的下落高度、物料颗粒的形状尺寸为变量,以物料颗粒在筛网面上运动的平稳程度为指标,通过仿真,观察物料颗粒在筛网面的运动速度及位置分布情况表明,单球形颗粒的速度分布相对较大,在达到振动筛分平稳阶段,单球形玉米颗粒的速度分布相对稳定,颗粒跳动现象明显减少。双球形玉米颗粒的速度分布相对较小,在达到筛分的稳定阶段,双球形玉米颗粒的位置跳动比较明显。双球形玉米颗粒在振动筛面的速度明显低于单球形玉米颗粒,不同下落高度的单球形玉米颗粒对振动筛分有一定的影响。在对直线型振动筛分设计过程中,不同的高度,不同的颗粒形状对筛分的效率都有较大的影响。针对不同类型的玉米物料,需要设计试验选择最优参数进行优化。下一步可以针对振动筛分的效率指标,对不同形状、不同高度、不同振动下的筛分参数进行设计优化。

参考文献

- [1] 鲍春永. 基于 DEM 的振动筛分过程机理研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2016: 14-15.
BAO Chun-yong. Research on the mechanism of vibrating screening process based on DEM[D]. Xuzhou: China University of

- Mining and Technology, 2016: 14-15.
- [2] 孙鹏. 基于离散元理论的振动筛分过程数值仿真研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2012: 20-21.
- SUN Peng. Research on numerical simulation of vibrating screening process based on discrete element theory[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2012: 20-21.
- [3] 李洪昌, 李耀明, 唐忠, 等. 基于 EDEM 的振动筛分数值模拟与分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 117-121.
- LI Hong-chang, LI Yao-ming, TANG Zhong, et al. Numerical simulation and analysis of vibrating screening based on EDEM[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(5): 117-121.
- [4] 王中营, 任宁, 武文斌, 等. 基于离散元法的往复振动筛筛分效果研究[J]. 农机化研究, 2016, 38(1): 33-38.
- WANG Zhong-ying, REN Ning, WU Wen-bin, et al. Research on the screening effect of reciprocating vibrating screen based on discrete element method[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, 38(1): 33-38.
- [5] 刘瑞, 闫俊霞, 陈国强, 等. 基于离散元法的玉米颗粒振动筛分过程模拟研究[J]. 轻工机械, 2019, 37(3): 31-34, 40.
- LIU Rui, YAN Jun-xia, CHEN Guo-qiang, et al. Simulation study on the vibration screening process of corn particles based on discrete element method[J]. Light Industry Machinery, 2019, 37(3): 31-34, 40.
- [6] 史朋波. ZKB 型直线振动筛的结构动力学分析及优化设计[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2018: 18-19.
- SHI Peng-bo. Structural dynamics analysis and optimal design of ZKB linear vibrating screen[D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2018: 18-19.
- [7] 王晓伟, 张路霞. 基于 ADAMS 的直线振动筛虚拟样机仿真分析[J]. 粮油加工(电子版), 2014(10): 65-67.
- WANG Xiao-wei, ZHANG Lu-xia. Simulation analysis of virtual prototype of linear vibrating screen based on ADAMS[J]. Cereals and Oils Processing (Electronic Edition), 2014(10): 65-67.
- [8] 江海深, 赵跃民, 张博, 等. 基于 DEM 的筛面与物料特性在筛分过程中协同作用的研究[J]. 矿山机械, 2014, 42(1): 83-87.
- JIANG Hai-shen, ZHAO Yue-min, ZHANG Bo, et al. Research on the synergistic effect of screen surface and material characteristics in the screening process based on DEM[J]. Mining Machinery, 2014, 42(1): 83-87.
- [9] 李小冬, 童昕, 王桂锋. 基于 DEM 的振动参数对颗粒筛分分层与透筛的研究[J]. 矿山机械, 2012, 40(5): 83-89.
- LI Xiao-dong, TONG Xin, WANG Gui-feng. Research on particle sieving stratification and penetration based on vibration parameters of DEM[J]. Mining Machinery, 2012, 40(5): 83-89.
- [10] 沈国浪, 李占福, 童昕, 等. 基于 DEM 的振动筛振动参数对分层质量的影响[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(5): 217-222.
- SHEN Guo-lang, LI Zhan-fu, TONG Xin, et al. Influence of vibration parameters of vibrating screen based on DEM on stratification quality[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(5): 217-222.
- [11] 沈国浪, 童昕, 李占福. 基于离散单元法对振动筛仿真实验次数分析[J]. 机械设计与研究, 2019, 35(2): 110-112, 116.
- SHEN Guo-lang, TONG Xin, LI Zhan-fu. Analysis of the number of vibration screen simulation experiments based on discrete element method[J]. Mechanical Design and Research, 2019, 35(2): 110-112, 116.
- [12] 刘义伦, 苏家辉, 赵先琼, 等. 基于离散元法的振动筛的筛分效率研究[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2018, 50(4): 78-83.
- LIU Yi-lun, SU Jia-hui, ZHAO Xian-qiong, et al. Research on the screening efficiency of vibrating screen based on discrete element method[J]. Journal of Northeast Normal University (Natural Science Edition), 2018, 50(4): 78-83.
- [13] 夏欢. 直线振动筛的工作原理与运动学参数选择[J]. 机械工程与自动化, 2012(6): 164-165.
- XIA Huan. The working principle and kinematic parameter selection of linear vibrating screen[J]. Mechanical Engineering and Automation, 2012(6): 164-165.

(上接第 22 页)

- [22] PEREIRA E, ENCINZ C, BARROS L, et al. Chemical and nutritional characterization of *Chenopodium quinoa* Willd (quinoa) grains: A good alternative to nutritious food[J]. Food Chemistry, 2019, 280: 110-114.
- [23] 王静, 刘丁丽, 罗丹, 等. 体外模拟消化对藜麦抗氧化活性、 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶抑制活性影响研究[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(4): 51-58.
- WANG Jing, LIU Ding-li, LUO Dan, et al. Effects of simulated digestion in vitro on the antioxidant, α -Glucosidase and α -amylase inhibition activities of quinoa[J]. Journal of China Grain and Oil, 2021, 36(4): 51-58.
- [24] VILLA R J A, PALAFOXET C H, YAHIA E M, et al. Maintaining antioxidant potential of fresh fruits and vegetables after harvest[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2015, 55(6): 806-822.
- [25] 刘月瑶. 不同加工方式对藜麦营养品质及抗氧化性能影响的研究[D]. 沈阳: 沈阳师范大学, 2020.
- LIU Yue-yao. Effects of different processing methods on nutritional quality and antioxidant activity of quinoa [D]. Shenyang: Shenyang Normal University, 2020.
- [26] HERNANDEZ L B. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) as source of bioactive compounds[J]. Bioactive Compounds in Health Diseases, 2019, 2(5): 556-560.
- [27] 张文刚, 张杰, 党斌, 等. 藜麦黄酒发酵工艺优化及抗氧化特性研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(12): 174-178, 226.
- ZHANG Wen-gang, ZHANG Jie, DANG Bin, et al. Optimization of fermentation process and antioxidant properties of quinoa yellow rice wine [J]. Food & Machinery, 2019, 35(12): 174-178, 226.