

基于 EDEM 的内充式花生排种器排种过程的离散元仿真研究

陈腾, 翟超男, 邢志中, 郭小军, 张海东* (云南农业大学机电工程学院, 云南昆明 650201)

摘要 [目的]寻找排种器的最佳排种转速。[方法]建立内充式花生排种器的离散元仿真模型,采用离散元的基本原理,运用 EDEM 软件对内充式花生排种器排种性能进行仿真研究,测定 3 种不同品种的花生种子在不同转速时排种器的排种量、清种起始角及清种终止角的变化趋势。[结果]实际转速为 15.7 ~ 45.5 r/min 时排种量随着转速的增大而增加,但与花生的品种无关;清种起始角和终止角也均随转速的增大而增大,但起始角的增大幅度大于终止角,导致清种区域随转速的增大而减小,实际转速为 38.0 r/min 时双粒率达到最高值、排种均匀性最好,仿真结果与试验结果变化趋势一致。[结论]基于 EDEM 的离散元仿真方法分析内充式花生排种器是可行的。

关键词 内充式排种器; 离散元; EDEM; 仿真研究

中图分类号 S223.2 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)16-250-04

Discrete Element Simulation Study of Seed Metering Process of Inside-Filling Meter Based on EDEM

CHEN Teng, ZHAI Chao-nan, XING Zhi-zhong, ZHANG Hai-dong* et al (College of Mechanical and Electrical Engineering, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201)

Abstract [Objective] To find the optimal meter rotational speed of seed metering. [Method] Discrete element simulation model was established for the Inside-Filling Meter. EDEM software was used for simulation study on seed metering property of inside-filling meter. Change trends of seed metering amount, seed-clearing starting angle, and seed-clearing ending angle of three varieties of peanut seeds were detected in different rotate speeds. [Result] When the rotate speed was 15.7 ~ 45.5 r/min, seed metering amount enhanced as the rotate speed increased, but had no correlation with peanut varieties. Seed starting angle and ending angle enhanced as the rotate speed increased, but the increase amplitude of starting angle was greater than that of ending angle, which led to the decrease of cleaning area with the increase of rotate speed. When the rotate speed was 38.0 r/min, double grain rate reached the maximum value, and the uniformity of seed metering was the optimal. Change trend of simulation result was consistent with that of experimental results. [Conclusion] It is feasible to analyze the inside-filling meter by discrete element simulation based on EDEM.

Key words Inside-filling meter; Discrete element; EDEM; Simulation research

播种机的排种器有很多种,花生播种机的排种器普遍采用的是内充式垂直圆盘排种器,该排种器应用了内侧充式的充种原理设计,这种排种器结构简单、工作可靠、适应性强、适合精密播种,具有极大的推广空间^[1-3]。但该类型排种器也存在一定的缺陷,如种子尺寸差距较大时排种均匀性和准确性会降低,从而影响播种质量。因此,研究内充式排种器的工作过程、改进排种器的结构对实现高质量的播种尤为重要。目前对排种器排种方面的研究大多集中在尺寸较小的种子颗粒。李鹏鹏等^[4]对内充式排种器播种小麦进行了排种性能试验并得到了最优参数组合。陈进等^[5]对气吸式精密播种机振动种盘中水稻种群运动进行了模拟仿真。王金武等^[6]对排种器排种性能进行了虚拟试验,分析了排种过程中造成不同尺寸等级玉米籽粒产生重播、漏播问题的主要原因。离散元(Discrete element method)是用来专门解决不连续介质的数值模拟方法,基本思路源于动力学。离散元法的计算原理相对比较简单,其分析仿真系统 EDEM 包括前处理模块、核心求解器和后处理模块^[7]。20 世纪 90 年代后,一些学者开始应用该方法研究散粒物料与农业机械工作部件的相互作用^[8]。花生种子的形状一般为椭圆形,具有滚动性,因此花生颗粒可以被看成是散粒体,在工作过程中种子与种子间及种子与材料间的碰撞十分复杂。现阶段有关排种器播种花生的排种过程研究较少,鉴于此,笔者以内充式

花生排种器为研究对象,提出基于 EDEM 的离散元仿真技术的内充式花生排种器排种过程研究,对排种器排种过程中清种起始角和终止角直接影响排种器的工作性能及排种器清种区域随转速的变化规律进行分析,寻找排种器的最佳转速,以期对内充式排种器的优化和改进提供理论依据,为花生播种机的推广提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 建模及参数的选取 运用离散元法分析排种器排种时需建立排种器的离散元分析模型并选取仿真所需参数。EDEM 主要有 3 个模块组成,即前处理器(Creater)、求解器(Simulator)和后处理器(Analyst)^[9-14]。前处理器进行模型的创建,求解器用来动态模拟,后处理器对从求解器中得到的结果进行分析。

1.1.1 全局变量的设置。该研究内充式花生排种器的离散元仿真过程中颗粒-颗粒、颗粒-材料壁面受力计算采用的是 Hertz 模型,该模型将两物体间的相对位置与其各自的受力处曲率半径进行对比来计算法向及切向受力,能够较为准确地反映刚性颗粒物体间的力学特点^[15-17];其余参数设置如表 1 所示。

1.1.2 颗粒的建模。在 EDEM 中颗粒的创建不是简单地采用球体代替,而是采用四面构型进行创建,当然软件可以在其自身环境下进行创建,也允许导入模型模板再进行填充,该研究对花生种子进行直接定义,即用 3 个球面来进行颗粒模型的构建,设置球面半径,输入数据定义颗粒模型,如图 1 所示,Calculate properties 选项系统可自动获取颗粒的重心、质量和体积。

基金项目 云南农业大学学生科技创新创业行动(2016ZKX121);云南农业大学博士科研启动基金。

作者简介 陈腾(1992-),男,江苏扬州人,硕士研究生,研究方向:农业机械及设施。*通讯作者,副教授,博士,从事农业机械及其自动化研究。

收稿日期 2016-05-08

表 1 参数的选取

Table 1 Selection of parameters

种类	属性	数值
Type	Attribute	Numerical value
花生种子 Peanut seed	密度	1 030
	剪切模量	5.72
	伯松比	0.300
排种器(边界) Seed-metering device	密度	1 050
	剪切模量	790.00
	伯松比	0.394
种子与种子 Seed and seed	碰撞恢复系数	0.60
	静摩擦系数	0.42
	动摩擦系数	0.06
	种子与排种器(边界) Seed and seed-metering device	碰撞恢复系数
	静摩擦系数	0.30
	动摩擦系数	0.03

注:密度单位为 kg/m^3 , 剪切模量单位为 MPa。

Note: Density unit was kg/m^3 , unit of shear modulus was MPa.

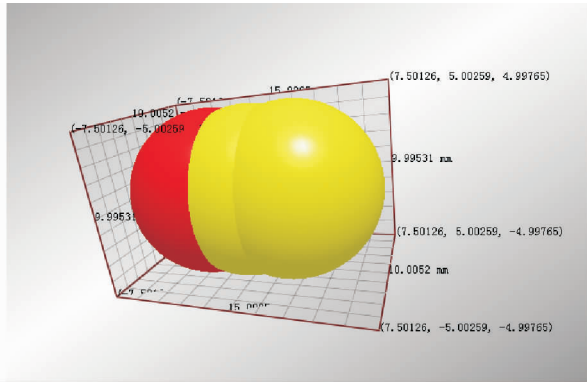


图 1 种子的颗粒模型

Fig. 1 Seed particle model

1.1.3 几何模型的建立。该研究采用 JS-HS1 型号的内充式花生排种器为模型建立的原型,几何模型由 Creo 建立,Creo 是一个整合了 Pro/ENGINEER、CoCreate 和 ProductView 三大软件并重新分发的新型 CAD 设计软件包^[18-20]。排种器经 Creo 创建后倒入 EDEM 后的模型如图 2 所示。为了赋予机械部件的材料特性及运动属性,对该模型机械组成进行集成,由传动轴、排种轮、外壳和护种板组成,其余为固定件。

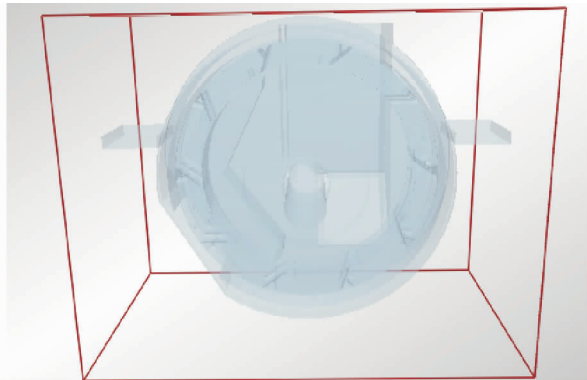


图 2 排种器导入 EDEM 后的模型

Fig. 2 The model after metering device imported into EDEM

1.1.4 颗粒工厂的建立。定义好的种子颗粒模型若要进入

排种器中进行仿真运动就需要在颗粒工厂生成颗粒模型再进入排种器模型。设置颗粒工厂为动态生成方式,生成颗粒总数为 300,产生速率为 5 000 个/s,放置颗粒最大尝试次数为 20 次。

1.2 试验材料 选择 3 种三维尺寸的不同花生品种(分别命名为大、中、小)在自行搭建的试验台上进行试验,对排种器的过程和性能进行分析。采用加工定制的内充式花生排种器,该排种器使用 ABS 材料加工而成,外壳为透明塑料,因此可以清晰地观察到内部运动过程。排种轮的直径为 186 mm,复式型空数为 10 个,内孔的长、宽分别为 40、15 mm。为了使试验过程能够被更准确地记录和分析,该研究对排种器进行了角度划分。

1.3 试验方法

1.3.1 排种器转速的选取。由于设备磨损等原因,排种器的实际转速与电动机显示转速会有一定的差别,因此需对排种器传动轴的转速重新进行标定和测量。步骤:①设定排种器转速分别为 15.0、20.0、30.0、40.0、50.0 r/min;②将转速设定为显示转速值后用转速表测试实际转速;③将测量数据整理进行记录。由于排种腔内种子运动的因素众多,种子运动结果的随机性很强,因此每种转速试验 5~8 次,排除差异很大的值后再取平均值。排种器的显示转速与实际转速见表 2。

表 2 显示转速与实际转速

Table 2 Comparison of actual speed and display speed

编号 Code	显示转速 Display speed	实际转速 Actual speed
①	15.0	15.7
②	20.0	20.1
③	30.0	30.3
④	40.0	38.8
⑤	50.0	45.5

1.3.2 排种器性能试验与仿真设计。采用试验测得的排种器实际转速对 3 种种子颗粒进行试验,根据排种轮转速并考虑台架试验误差影响,采取分析 2 s 内不同转速下排出的种子颗粒数的方法研究排种器的性能。采用 EDEM 进行仿真时,其后处理器模块中 Selection 选项能够对模型区域进行划分。EDEM 能够对颗粒的质量、数量等累计值进行自动累计计算,将网格数设置为 1 对颗粒数进行累计。在 Edit Binning Group 选项中创建一个新组,在 Options 选项中点击 Edit 勾选 Number of Particles,该研究测定的是段时间内排种总量,因而勾选 Total over Time 选项,以便在逐步仿真时累积的颗粒总数也被随时记录。

1.3.3 清种角的试验与仿真设计。清种角是由清种起始角和清种终止角组成的,当复式孔内的种子开始回落时,该复式孔轴线与 y 轴负半轴的夹角称为起始角;当全部种子从复式孔回落时,复式孔轴线与 y 轴负半轴的夹角称为清种终止角。排种器排种过程中充种过程结束后,由复式孔带动花生种子进入清种区域,在清种区域内多余的种子在重力的作用

下会回落到排种腔内防止种子的重播及破碎,所以清种角影响着花生播种的精度。采用试验测得的排种器实际转速对花生种子排种均匀性进行分析。仿真计算完成后自动生成仿真动画,EDEM 中有标尺和量角器工具,在 Tool 中点击量角器(Protractor)选项,设置 y 轴负半轴为起点,点击前进或后退按钮观察种子的回落情况从而找到清种起始角和终止角。

2 结果与分析

2.1 排种器性能试验结果与仿真结果的对比 排种过程中种子数量累计过程的仿真图如图 3 所示。2 s 内不同转速下种子排量试验值与仿真值对比结果见表 3。从表 3 可以看出,不同品种的种子的排量相差不大,且均随着转速的增大而增大;仿真值排量随转速的变化呈直线上升趋势,试验值与仿真值存在一定的误差,但两者的变化趋势是一样的。方差分析结果表明:花生品种对种子排量影响不显著,排种器转速对种子排量影响显著。

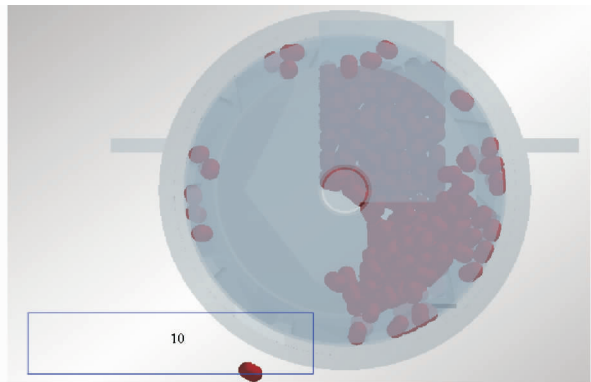


图 3 排种数累计过程仿真图

Fig.3 Simulation diagram of the accumulated process of seed metering account

2.2 清种角的试验结果与仿真结果的对比 清种起始角和终止角的仿真图与试验图分别如图 4、5 所示。清种起始角、终止角试验值与仿真值结果分别见表 4、5。从表 4、5 可以看

表 3 2 s 内不同转速下种子排量试验值与仿真值对比

Table 3 Comparison of test values and simulation values of seed displacement under different speeds in 2 s

转速 Rotate speed r/min	排量试验值 Test value			排量仿真值 Simulation value		
	大 Large	中 Middle	小 Small	大 Large	中 Middle	小 Small
15.7	10	8	8	12	10	11
20.1	12	12	13	17	15	16
30.3	25	22	24	28	25	27
38.0	30	28	33	32	30	29
45.5	40	41	41	44	44	43

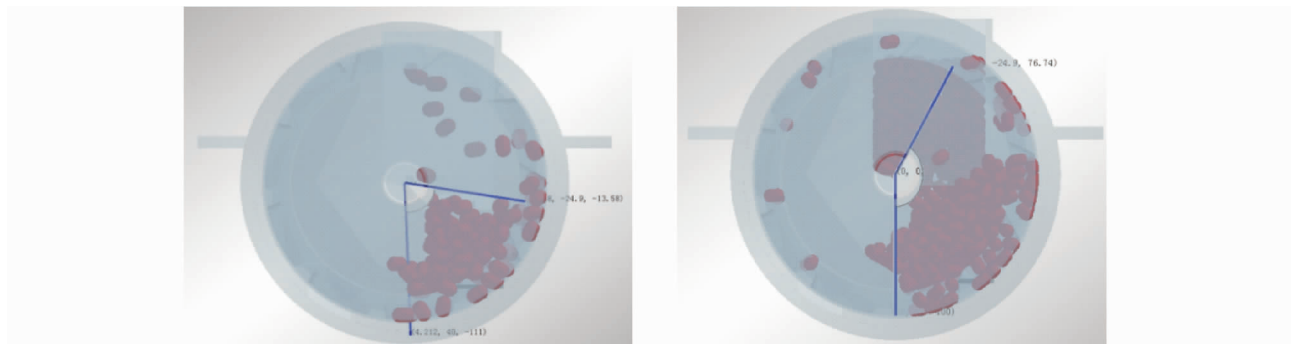


图 4 清种起始角和终止角仿真图

Fig.4 Simulation diagrams of starting angle and ending angle



图 5 清种起始角和终止角试验图

Fig.5 The experiment diagrams of starting angle and ending angle

表 4 清种起始角、终止角试验值

Table 4 The experimental values of starting angle and ending angle

转速 Rotate speed r/min	起始角 Starting angle//°			终止角 Ending angle//°		
	大 Large	中 Middle	小 Small	大 Large	中 Middle	小 Small
15.7	90	92	91	145	146	149
20.1	105	105	104	155	152	154
30.3	111	115	113	165	160	160
38.0	115	115	115	171	169	172
45.5	120	120	125	173	175	175

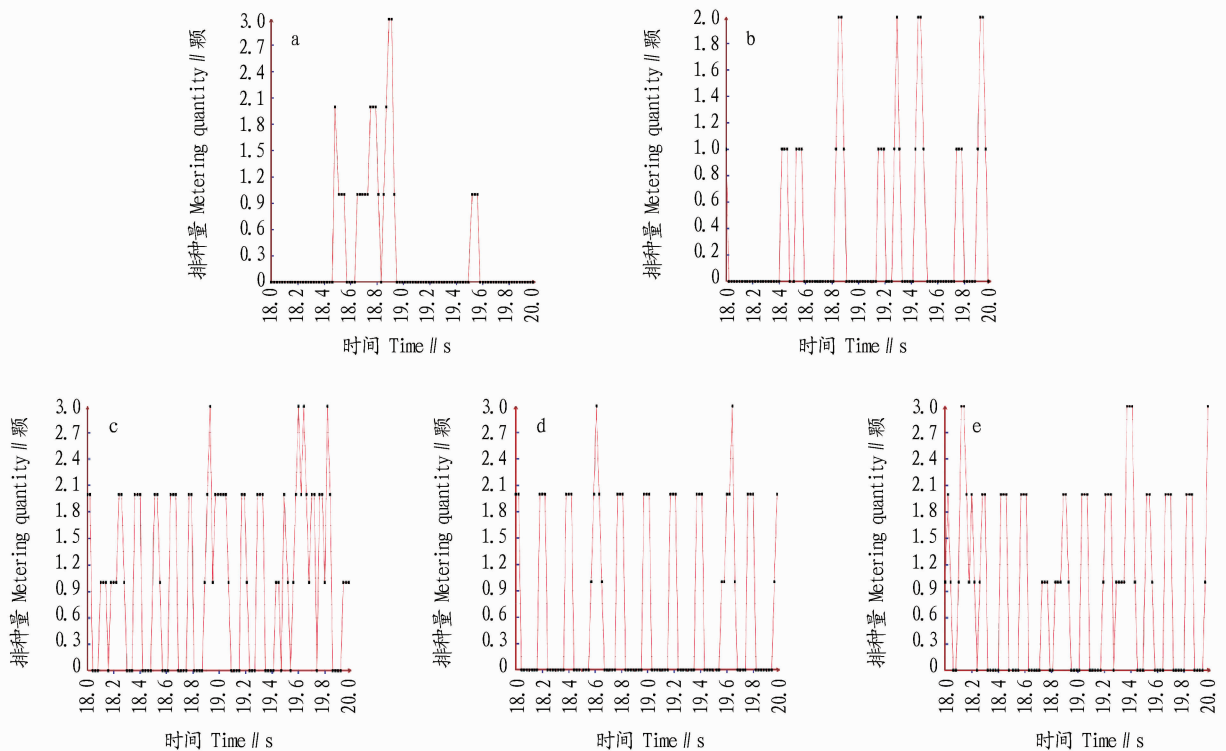
表 5 清种起始角、终止角仿真值

Table 5 The simulation values of starting angle and ending angle

转速 Rotate speed r/min	起始角 Starting angle//°			终止角 Ending angle//°		
	大 Large	中 Middle	小 Small	大 Large	中 Middle	小 Small
15.7	88.37	90.01	89.95	145.05	147.82	146.35
20.1	104.28	102.98	102.29	155.00	155.84	153.78
30.3	111.15	114.00	111.73	163.05	162.50	160.71
38.0	114.56	117.65	116.59	171.03	170.99	169.79
45.5	120.00	121.47	123.50	173.06	173.50	173.79

出,排种起始角、终止角的仿真值与试验值存在一定差异,但两者的变化趋势是一致的,随着转速的增大清种起始角和清种终止角也在增加,但起始角的增幅比终止角的增幅大,从而导致整个清种区域随转速的增大而减小。图 6 为 2 s 内排种器不同转速的排种仿真情况。从图 6 可以看出,在转速达

到 38.0 r/min 之前排种量随着排种转速的增加而增加,且双粒率也随之增大,均匀性越来越好,转速为 38.0 r/min 时双粒率达到最高值、排种均匀性最好,当转速达到 45.5 r/min 时双粒率及均匀性均有所下降。



注:a. 转速为 15.7 r/min 时排种情况; b. 转速为 20.1 r/min 时排种情况; c. 转速为 30.3 r/min 时排种情况; d. 转速为 38.8 r/min 时排种情况; e. 转速为 45.5 r/min 时排种情况。

Note: a. Metering situation at 15.7 r/min rotate speed; b. Metering situation at 20.1 r/min rotate speed; c. Metering situation at 30.3 r/min rotate speed; d. Metering situation at 38.8 r/min rotate speed; e. Metering situation at 45.5 r/min rotate speed.

图 6 2 s 内排种器不同转速的排种仿真情况

Fig. 6 Metering simulation situation at different rotate speeds within 2 s

(下转第 278 页)

种病毒积累^[7],使温郁金品质和产量均下降,迫切需要加强组织培养技术及组培苗移栽技术方面的研究,这既是保持温郁金优良种性并能快速繁育良种的最有效方法,也是实现温郁金种苗的工业化生产和温郁金产业化生产的基础^[8]。在温郁金种植方面,虽然已掌握温郁金的规范化种植技术,在瑞安市陶山镇已建立温郁金 GAP 基地,能够使生产出的温郁金达到“优质、高产、稳定、可控”的要求,但仍然不能解决温郁金连作障碍问题,如何解决连作障碍问题是今后温郁金栽培技术中需要解决的一个重要问题。

在温郁金的开发利用过程中,目前主要是利用温郁金的块根和块茎入药,大量的茎叶被丢弃而造成浪费,而研究发现温郁金茎叶中含有莪术二酮、新莪术二酮、反吉马酮、郁金烯酮、郁金二酮、二氢莪术二酮等多种成分^[9],如何充分开发和利用温郁金茎叶,提高温郁金的整体经济价值是今后研究中待解决的问题。在药理方面主要是研究 β -榄香烯、姜黄素、莪术醇等的抗肿瘤作用,除上述活性成分外,温郁金中含有微量元素^[10]和多种糖等多种成分,目前还没对其进行深入研究,潜在的功能尚待研究和开发。今后的研究中应充分挖

掘多成分的药理作用,促进对温郁金的综合利用,以便开辟温郁金药材新的药用领域,开发食品和保健品等。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[S]. 北京:中国医药科技出版社,2015.
- [2] 尹国平,张清哲,安月伟,等. 温郁金化学成分及药理活性研究进展[J]. 中国中药杂志,2012,37(22):3354-3360.
- [3] 付田. 6种郁金降血脂和活血效应强度比较研究[D]. 成都:成都中医药大学,2005.
- [4] 李志强,曹文富. 姜黄素防治肝纤维化作用机制的研究进展[J]. 重庆医学,2012,41(10):1024-1026.
- [5] 贺郝钰,侯春梅,迟秀丽,等. 国际生物土壤结皮研究发展态势文献计量分析[J]. 生态学报,2014,34(1):1035-1041.
- [6] 王运锋,夏德宏,颜尧妹. 社会网络分析与可视化工具 NetDraw 的应用案例分析[J]. 现代教育技术,2008,18(4):85-89.
- [7] 钱华,王衍彬. 温郁金甘薯病毒感染与病原血清学鉴定[J]. 国家现代中药,2007,9(7):8-10.
- [8] 吕德任,潘海,戚华莎,等. 温郁金组培苗移栽技术[J]. 中国园艺文摘,2013(9):155-156.
- [9] 王利霞,邓志威,黄可新,等. 温郁金茎叶化学成分研究[J]. 中国中药杂志,2008,33(7):785-788.
- [10] 张浩,谢成科,焦文旭. 中药温郁金中姜黄素类成分及微量元素分析[J]. 天然产物研究与开发,1997,9(4):37-40.

(上接第 253 页)

3 结论

(1)分析了排种轮在不同的转速下大、中、小 3 种种子颗粒的排种量,结果显示:种子排量随着转速的增大而增加,但转速为 15.7、20.1 r/min 时排量的试验值略大于仿真值。

(2)分析了排种轮不同转速时内充式花生排种器的清种起始角和清种终止角,结果显示:清种起始角比仿真值小,而清种终止角比仿真值大,但两者的变化趋势是一致的,均随转速的增大而增加,清种区域随转速的增大而减小。

(3)综合分析可知,内充式花生排种器在转速为 38.0 r/min 时排种均匀性较好。

仿真结果与试验结果变化趋势一致,基于 EDEM 的离散元仿真方法分析内充式花生排种器是可行的。

参考文献

- [1] 丁元法,肖继军,张晓辉. 精密播种机的现状与发展趋势[J]. 山东农机,2001(6):3-5.
- [2] 吴明亮,汤楚苗,李明,等. 水稻精密播种机排种器研究的现状与对策[J]. 中国农机化,2003(3):30-31.
- [3] 王吉奎. 穴播轮中棉种的运动规律与夹持取种机理研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [4] 李鹏鹏,梁洁,王雨生,等. 浅析内充式花生排种器性能的影响因素[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版),2009(1):45-48.
- [5] 陈进,周韩,赵湛,等. 基于 EDEM 的振动种盘中水稻种群运动规律研究[J]. 农业机械学报,2011,42(10):79-83.

- [6] 王金武,唐汉,王奇,等. 基于 EDEM 软件的指夹式精量排种器排种性能数值模拟与试验[J]. 农业工程学报,2015,31(21):43-50.
- [7] 杨星钊,张飞. 玉米精量播种装置改进[J]. 安徽农业科学,2009(28):13829-13830.
- [8] 申嵩奎. 内充式花生排种器关键技术与结构创新研究[J]. 农业与技术,2015,35(9):42-43.
- [9] 宋景玲,阙建文. 平板刷式整苗盘排种器[J]. 现代化农业,2000(9):34-35.
- [10] 孙齐磊,张晓辉. 浅析播种机的现状与发展趋势[J]. 农业机械,2002(6):14.
- [11] 耿兴利. 铁路道床捣固振动特性数值仿真研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2011.
- [12] 李红. 精密排种器的数字化设计与工作过程仿真分析[D]. 长春:吉林大学,2004.
- [13] 廖庆喜,张朋玲,廖宜涛,等. 基于 EDEM 的离心式排种器排种性能数值模拟[J]. 农业机械学报,2014,45(2):109-114.
- [14] 李鹏程. 基于 AWE 的动车工艺转向架结构分析与优化设计研究[D]. 武汉:武汉科技大学,2011.
- [15] 郭丽峰. 立式圆盘大豆排种器型孔优化设计与试验研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2014.
- [16] 王雷克. 带式输送机卸料轨迹及转载过程的 DEM 仿真研究[D]. 沈阳:东北大学,2014.
- [17] 杜小强. 不同状态下机载导弹发射的绕流特性的研究[D]. 太原:中北大学,2015.
- [18] 王福林,尚家杰,刘宏新,等. EDEM 颗粒体仿真技术在排种机构研究上的应用[J]. 东北农业大学学报,2013(2):110-114.
- [19] 潘振海,王昊,王习东,等. 油砂干馏系统的 DEM - CFD 耦合模拟[J]. 天然气工业,2008(12):124-126.
- [20] 梁伟. 基于复杂机电产品设计历史的功能结构逆求解方法研究[D]. 杭州:浙江工业大学,2012.