

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.08.010

磁吸滚筒式排种器种箱振动供种仿真与试验*

胡建平 郭坤 周春健 侯冲

(江苏大学现代农业装备与技术教育部重点实验室, 镇江 212013)

摘要: 基于颗粒离散元法,以番茄磁粉包衣种子为对象,采用 Hertz - Mindlin 接触模型,建立了种子和排种器仿真分析模型,研究了种箱振动频率、振幅对种群运动规律及种箱供种性能的影响。仿真结果表明,在振动频率 40 Hz、振幅 0.50 mm 和 0.75 mm 时,种群堆积高度稳定,可以达到稳定供种。为了验证仿真模型的可靠性,采用高速摄像拍摄了在种箱振动频率为 40 Hz、振幅为 0.75 mm 条件下的供种情况,种子实际供种情况与仿真结果吻合。以种箱振动频率、振幅为试验因素,在磁吸滚筒式排种器上进行排种性能试验,得出种箱在振动频率 40 Hz,振幅为 0.50 mm 和 0.75 mm 时,单粒率达 92%,漏播率低于 3%;在振动频率 20 Hz 和 60 Hz 时,不同振幅下的单粒率均小于 80%。

关键词: 磁吸式排种器 供种 离散元法 仿真

中图分类号: S233.2⁺5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)08-0061-05

引言

磁吸式精密排种是依靠排种元件磁吸头对磁粉包衣种子的磁吸力,将磁粉包衣种子从种群中精确分离出来的一种排种方式^[1-2]。采用种箱振动供种是现有滚筒式排种器所采用的通用方法^[2-5],种箱内的供种过程是一个复杂的种群运动过程,受到种箱振动参数、工艺参数和种子物料特性等多种因素影响,并与排种器的排种性能如单粒率、重播率和漏播率有直接关联。王淑铭等在试验研究的基础上,对气动振动式精密排种器振盘及种子的运动理论进行了分析^[5];陈进、李耀明等采用离散元法对气吸式精密播种机振动种盘中水稻种群运动进行研究,分析了频率、振幅、种层厚度对种群空间分布密度的影响^[6-7];王在满等采用高速摄像技术对型孔式水稻排种轮的充种过程进行研究,分析了充种区内稻种的流动规律、充种姿态以及充种趋势^[8]。

本文以磁吸滚筒式排种器为研究对象,采用离散元法^[9-13]及其分析软件 EDEM,对种箱内种群振动工况下的供种过程进行仿真,分析不同频率、振幅对种群运动及排种性能的影响,为合理选取种箱振动参数、改善排种器排种质量提供科学依据。

1 模型建立

1.1 接触力学模型

接触模型是离散元法的重要基础,其实质是准静态下固体颗粒的接触力学弹塑性分析结果。磁吸式精密排种器所用种子是经过丸粒化处理的磁粉包衣种子,具有散粒体物料的特性,且颗粒表面没有粘附力,故本文选取 Hertz - Mindlin 无滑动接触模型作为颗粒与颗粒之间以及颗粒与排种器之间的接触模型。该模型假设离散单元为刚性体,离散单元之间为点接触,其接触特性为软接触,即刚性离散单元在接触点处允许有一定的重叠量,在所有时间中任何离散单元所受合力可由与其接触的离散单元之间的相互作用确定。

1.2 排种器几何模型和颗粒模型的建立

排种器在 Pro/E 软件中建立几何模型,然后导入 EDEM,为减少仿真计算量,对排种器模型进行了适当简化如图 1 所示,具体参数如表 1 所示。采用番茄磁粉包衣种子进行仿真试验,经测量得到番茄磁粉包衣种子的几何尺寸和力学特性参数^[14](表 2),种子颗粒模型选择在 EDEM 中直接创建,如图 2 所示。

1.3 排种器供种过程仿真

种子由种箱模型内部的颗粒工厂生成,生成的种子在自身重力的作用下自由分布到种箱底部,然后在种箱激振下“沸腾”并向排种器滚筒壁方向靠

收稿日期: 2013-07-31 修回日期: 2013-08-26

* 江苏省科技支撑(农业)资助项目(BE2011348)、江苏省高校自然科学基金重点资助项目(11KJA210001)、江苏高校优势学科建设工程资助项目(苏财教[2011]8号)和江苏省青蓝工程资助项目(苏教师[2010]27号)

作者简介: 胡建平,教授,博士生导师,主要从事农业机械设计及理论研究,E-mail: hujp@ujs.edu.cn

拢,最终完成堆积,达到稳定供种状态。种群的堆积过程如图3所示,图中 H 为堆积高度。

种箱内种层数或种群堆积高度对供种效果有一定的影响。为了考察颗粒群在振动条件下供种效果,在可视化三维离散元模拟仿真中,将衡量指标简化为有效供种区域(靠近滚筒壁 $6\text{ mm} \times 6\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 区域)内颗粒物料在种箱内的堆积高度 H (图3),因为在颗粒数量一定的条件下,供种区域内颗粒堆积高度即能反映颗粒的堆积效果。

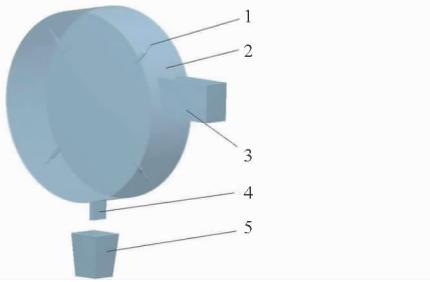


图1 磁吸滚筒式排种器几何模型

Fig.1 Magnetic cylinder seeder model

1. 磁吸头 2. 滚筒 3. 种箱 4. 刮种板 5. 接种盘

表1 磁吸滚筒式排种器设计参数

Tab.1 Magnetic cylinder seeder design parameters

参数	数值
排种轮直径/mm	$\phi 200$
种箱尺寸(长 \times 宽 \times 高)/mm \times mm \times mm	70 \times 30 \times 40
接种盘尺寸(长 \times 宽 \times 高)/mm \times mm \times mm	40 \times 30 \times 40
磁吸头(直径 \times 长度)/mm \times mm	$\phi 2 \times 10$
刮种板(长 \times 宽 \times 高)/mm \times mm \times mm	10 \times 10 \times 15

表2 包衣种子特征参数

Tab.2 Coated seeds characteristic parameters

参数	数值
种子尺寸(最大直径 \times 厚度)/mm \times mm	$\phi 3 \times 2$
种子密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	2680
剪切模量/MPa	89.76
泊松比	0.3
种子与种箱之间的动摩擦因数	0.0991
种子与种箱之间的静摩擦因数	0.1482
种子与种子之间的动摩擦因数	0.1765
种子与种子之间的静摩擦因数	0.287
种子与种箱的碰撞恢复系数	0.58
种子与种子的碰撞恢复系数	0.3

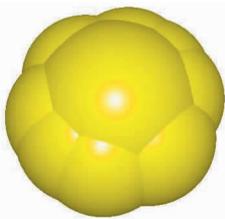
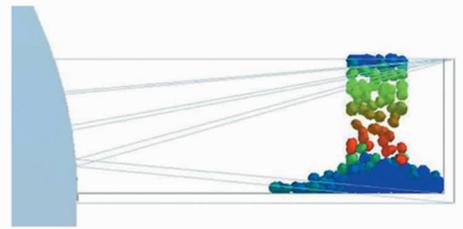
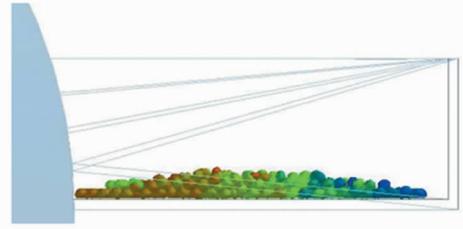


图2 种子颗粒模型

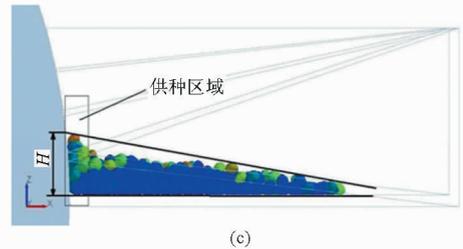
Fig.2 Particle model



(a)



(b)



(c)

图3 种群堆积过程

Fig.3 Seeds accumulating process

(a) $t = 0.2\text{ s}$ (b) $t = 0.7\text{ s}$ (c) $t = 1.1\text{ s}$

2 仿真结果分析

2.1 振幅

根据振动种箱实际激振添加的情况,本文所加激振方向与 X 轴负方向成 70° 夹角斜向上,在EDEM仿真环境中,需要将振幅分解为 Z 轴方向和 X 负方向的两个分振幅,所取种箱振幅为 0.50 mm ($X = -0.17\text{ mm}$, $Z = 0.47\text{ mm}$)、 0.75 mm ($X = -0.26\text{ mm}$, $Z = 0.70\text{ mm}$)和 1.00 mm ($X = -0.34\text{ mm}$, $Z = 0.94\text{ mm}$)。生成包衣种子颗粒数为200粒,在种箱振动频率为 40 Hz 时,研究振幅对供种效果的影响,获得不同振幅对颗粒供种效果的影响规律,如图4所示。

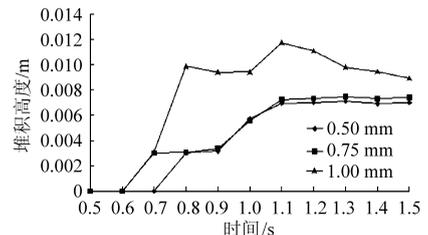


图4 种群在不同振幅下的供种效果

Fig.4 Supply effects of seeds in different amplitude

由图4可知,堆积高度随振幅的增加而增大;当振幅为 1.00 mm 的情况下,在 0.75 s 时种箱内的种群完成供种堆积,堆积速度比较快,但是种群堆积高

度并不稳定,种群运动比较剧烈,不利于种群的稳定供种。在振幅为 0.50 mm 和 0.75 mm 的情况下,种群在 1.15 s 完成堆积,完成供种后堆积高度比较稳定。根据堆积高度的稳定性得出磁粉包衣种子在振幅为 0.50 mm 和 0.75 mm 时比较适合种箱供种。

2.2 频率

取包衣种子 200 粒,在种箱振幅 0.75 mm 时,分别取种箱振动频率 20、40 和 60 Hz,获得不同振幅对颗粒供种效果的影响规律如图 5 所示。

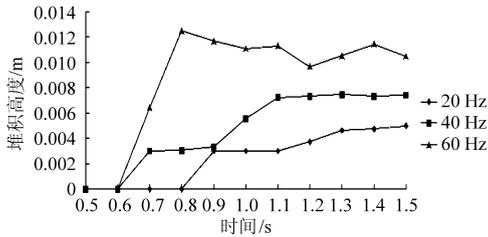


图 5 种群在不同振动频率下的供种效果

Fig. 5 Supply effect of seeds in different frequency

由图 5 可知,种群堆积高度随种箱的振动频率增加而增加。当频率为 60 Hz 时,种箱内种群在 0.75 s 达到最大堆积高度 12.8 mm,之后种群堆积高度在 1.2 s 时下降至 9.6 mm,然后反复上升和下降,波动较大,种群运动过于激烈,不利于种箱内种群的供种;而在振动频率为 20 Hz 时最大堆积高度只有 5.0 mm,造成充种区域种子颗粒少,不利于种箱内种群的稳定供种。振动频率 40 Hz 时,种群在 1.1 s 时堆积达到 8.0 mm,充种区域种子颗粒数多,且堆积高度保持相对稳定,供种效果最好。

3 试验

3.1 种箱内种群供种过程

为验证供种过程仿真的可靠性,采用 Redlake CR2000 型高速摄像机对种箱供种过程中种群运动进行拍摄。取番茄包衣种子 200 粒,种箱振幅为 0.75 mm,振动频率为 40 Hz 进行试验。试验过程中利用高速摄像设备将种箱内种子的供种过程进行记录,供种过程如图 6 所示。

从图 6 可知,番茄磁粉包衣种子在种箱开始振动之前静止处于种箱的右侧,随着种箱的振动,包衣种子开始向左侧滚筒壁方向运动,在 1.0 s 时包衣种子接触滚筒壁,1.5 s 时包衣种子在滚筒壁处达到稳定堆积状态。

采用高速摄像分析软件 Blasters'MAS,测定番茄磁粉包衣种子在种箱中堆积高度的坐标值,并与种箱的坐标值进行对比,计算出种群在不同时刻的堆积高度,得出种群堆积高度随时间的变化曲线,并与仿真结果进行比较,如图 7 所示。从图 7 可知,试验

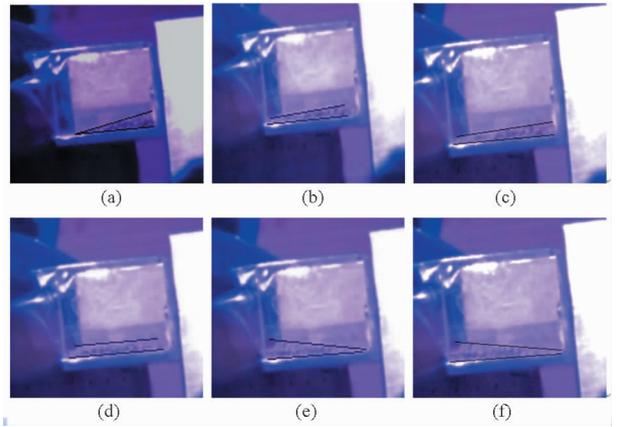


图 6 种箱供种过程摄像记录

Fig. 6 Seeds supplying process video record

(a) $t = 0$ s (b) $t = 0.4$ s (c) $t = 0.8$ s

(d) $t = 1$ s (e) $t = 1.5$ s (f) $t = 1.8$ s

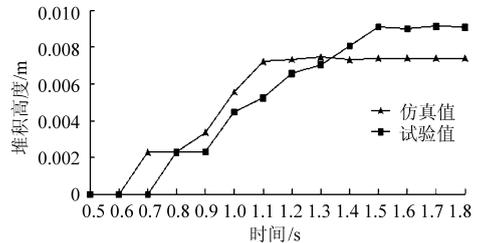


图 7 包衣种子供种效果

Fig. 7 Supplying effect of coated seeds

中磁粉包衣种子完成供种的时间要稍长于仿真的时间,主要是试验中添加振动存在一定延迟误差;试验中种子稳定堆积时高度略高于仿真值,高度相对误差约为 18%,试验中包衣种子总体的堆积趋势、堆积效果和仿真结果是一致的,验证了离散元仿真结果的准确性。

3.2 排种器排种性能

基于种箱供种的仿真和试验结果,为验证稳定供种对排种器排种性能的影响,以振动频率、振幅为试验因素,在江苏大学农业工程研究院自行研制的磁吸滚筒式排种器上进行单因素排种性能试验,分析不同供种条件下排种器的排种性能,以单粒率、重播率和漏播率为指标来检验排种器的排种性能,试验结果如表 3 所示。

从表 3 可知,在振幅为 0.50 ~ 1.00 mm 时,随振动频率增加,排种器单粒率先增加后减小,在频率 20 Hz 时,漏播率较高;频率在 60 Hz 时,重播率较高;频率在 40 Hz 时,单粒率最高,重播率和漏播率相对较低。在频率为 40 Hz 时,单粒率随振幅的增加先小幅度增加后减小,振幅为 0.50 mm 和 0.75 mm 时,单粒率均在 92% 以上,排种器排种效果理想。从试验结果可知:在稳定供种条件时,排种器具有很好的排种效果,验证了供种仿真模型的可靠性。

表3 排种性能试验结果
Tab.3 Results of sowing performances experiments

振幅 /mm	频率/Hz								
	20			40			60		
	单粒率	重播率	漏播率	单粒率	重播率	漏播率	单粒率	重播率	漏播率
0.50	79.32	0	20.68	92.25	5.08	2.67	70.84	23.87	5.29
0.75	65.08	0	34.92	92.36	4.95	2.89	75.06	11.36	13.58
1.00	46.32	8.96	44.72	85.67	9.86	4.47	68.32	24.58	7.10

4 结论

(1) 在振幅相同情况下,频率对供种效果有显著的影响,种箱振幅在 0.50 ~ 1.00 mm、振动频率 20 Hz 和 60 Hz 下,种箱供种效果不好,在振动频率为 40 Hz、振幅为 0.5 mm 和 0.75 mm 时,种群堆积高度稳定,可以达到稳定供种。

(2) 采用高速摄像对种箱内种群的供种过程进行拍摄,将拍摄结果与仿真结果对比,得出种群供种趋势及效果与仿真结果相吻合,验证了所建仿真模

型的正确性及离散元模拟分析种箱振动供种情况的可行性。

(3) 以振幅和振动频率为试验因素进行排种性能试验。结果表明:在频率 20 Hz 和 60 Hz 时,不同振幅下排种器单粒率均低于 80%;在种箱频率为 40 Hz,振幅 0.50 mm 和 0.75 mm 时,单粒率均达 92% 以上,漏播率小于 3%,能够满足精密排种要求。排种性能试验表明,种箱供种效果与排种性能密切相关,振动供种离散元仿真分析有助于快速优选振动参数。

参 考 文 献

- 胡建平,毛罕平.磁吸式精密排种原理分析及试验研究[J].农业机械学报,2004,35(4):55-58.
Hu Jianping, Mao Hanping. Analytical and experimental study on principle of precision seed-meter by magnetic force[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004,35(4):55-58. (in Chinese)
- 胡建平,郑赛男,刘文东.磁吸滚筒式精密排种器设计与试验[J].农业机械学报,2009,40(3):60-63.
Hu Jianping, Zheng Sainan, Liu Wendong. Design and experiment of precision magnetic cylinder-seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(3):60-63. (in Chinese)
- 赵湛,李耀明,陈进,等.气吸滚筒式排种器吸种过程的动力学分析[J].农业工程学报,2011,27(7):112-116
Zhao Zhan, Li Yaoming, Chen Jin, et al. Dynamic analysis of seeds pick-up process for vacuum-cylinder seeder[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(7): 112-116. (in Chinese)
- 张石平,夏静,陈进.气吸振动式蔬菜穴盘育苗精密播种装置的研究[J].农机化研究,2007(8):80-83.
- 王淑娟,魏天路,周海波.气动振动式精密排种器工作参数的分析与仿真[J].农业工程学报,2010,10(增刊1):56-60.
- 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.
Chen Jin, Zhou Han, Zhao Zhan, et al. Analysis of rice seeds motion on vibrating plate using EDEM[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(10):79-83. (in Chinese)
- 李耀明,赵湛,陈进,等.气吸振动式排种器种盘内种群运动的离散元分析[J].农业机械学报,2009,40(3):56-59.
Li Yaoming, Zhao Zhan, Chen Jin, et al. Discrete element method simulation of seeds motion in vibrated bed of precision vacuum seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(3): 56-59. (in Chinese)
- 王在满,罗锡文,黄世醒,等.型孔式水稻排种轮充种过程的高速摄像分析[J].农业机械学报,2009,40(12):56-61.
Wang Zaiman, Luo Xiwen, Huang Shixing, et al. Rice seeds feeding process in cell wheel based on high-speed photography technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12): 56-61. (in Chinese)
- Cundall P A. The measurement and analysis of acceleration in rock slopes[D]. London: University of London, 1971.
- 王国强,郝万军,王继新.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.
- 胡国明.颗粒系统的离散元素法分析仿真[M].武汉:武汉理工大学出版社,2010.
- 孙裕晶,马成林,牛序堂,等.基于离散元的大豆精密排种过程分析与动态模拟[J].农业机械学报,2006,37(11):45-48.
Sun Yujing, Ma Chenglin, Niu Xutang, et al. Discrete element analysis and animation of soybean precision seeding process based on CAD boundary model[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(11):45-48. (in Chinese)
- 赵跃民,张曙光,焦红光,等.振动平面上粒群运动的离散元模拟[J].中国矿业大学学报,2006,35(5):586-590.
- 周春健.基于离散元法磁吸滚筒式排种器种群运动规律研究[D].镇江:江苏大学,2013.
Zhou Chunjian. Analysis of seed group motion on magnetic cylinder seeder based on DEM[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2013. (in Chinese)
- 吴爱祥,孙业志,刘湘平.散体动力学理论及其在应用[M].北京:冶金工业出版社,2002.

Simulation and Experiment of Supplying Seeds in Box of Magnetic Precision Cylinder-seeder

Hu Jianping Guo Kun Zhou Chunjian Hou Chong

(Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: Discrete element method was used to analyze the influence of working parameters on supplying seeds performance of magnetic precision cylinder seeder. Tomato powder coated seed was taken as the object of study, and then the seed and seeder simulation model was established. The mechanical interaction forces, both between seed and seeder and among the seeds were modeled by Hertz – Mindlin method (no slip). The effects of vibration frequency and amplitude on the seeds movement rule and the supplying performance were analyzed. The simulation results showed that when the vibration frequency was 40 Hz and the vibration amplitude was 0.5 mm or 0.75 mm, the seeds accumulated a stable height and the ideal seeds supplying performance could be received, which was beneficial to improve suction precision. In order to verify the reliability of the simulation model, high-speed photography technology was used to record the supplying process with the seed box vibration frequency of 40 Hz and vibration amplitude of 0.75 mm, and the supplying results were consistent with the simulation results. Experiments were carried out on magnetic precision cylinder-seeder and the results showed that the single grain rate was greater than 92% and leak seeding rate was less than 3% with the seed box vibration frequency of 40 Hz, vibration amplitude of 0.5 mm and 0.75 mm. The single grain rate was lower than 80% with vibration frequency of 20 Hz and 60 Hz, with different amplitudes.

Key words: Magnetic seeder Supplying seed Discrete element method Simulation

(上接第 18 页)

Combustion Cyclic Variations of Common-rail Diesel Engine Fueled with DMC/Diesel Blend

Mei Deqing¹ Ren Hua¹ Jiang Shiyang¹ Baar Roland²

(1. School of Automobile and Traffic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

2. Department of Mechanical Engineering and Transport Systems, Technical University of Berlin, Berlin 10587, Germany)

Abstract: The combustion cyclic variations of DMC/diesel burned in a common-rail engine under different conditions are studied, and the influences of COHR and EGR on combustion cyclic variations are also carried out. Results show that the combustion cyclic variations of different fuels burned in the common-rail engine are relatively small. The combustion cyclic variations of D10 are greater than that of diesel. The combustion cyclic variations at high load are relatively low. With the increase of COHR, the cyclic variations coefficient of p_{mi} are not obvious, while the characteristic parameter for p_{max} grows slightly and that for θ_d grows obviously. The rise of EGR rate could cause the slow increase of cyclic variation coefficients of D10 fuel, while that for diesel is relatively smooth. The high mean indicated effective pressure corresponds to short flame developing period.

Key words: Dimethyl carbonate High pressure common-rail diesel engine Combustion Cyclic variations