Design and Simulation Analysis of Air-Suction Rice Metering Device

Zhe Ming[1, a *], Qisheng He[2, b] and Kangyong Huang[1, c]

[1]Jilin Agricultural Science and Technology University，Jilin 132101，China;

[2] Rainbow Photovoltaic (Hefei) Co., Ltd,Hefei230000, China.

[a]86710849@qq.com, [b]jlnkjxgc@126.com, [c]1092296390@qq.com

*The corresponding author

Abstract. Aiming at the present situation of the use and development of metering device in Mechanized Direct Seeding of rice in China, and the application of virtual prototyping technology and discrete element simulation in agricultural machinery design, a new type of air-suction rice metering device was designed by using CATIA software. The working process of metering device was simulated by CFD-DEM coupling technology, and the results were compared with those of bench test. The optimum structure parameters of the metering device are obtained.

Keywords: Air suction type; Seed metering device; Virtual design; Simulation

气吸式水稻排种器设计与模拟仿真分析

明哲[1]，何齐胜[2]，黄康永[1]

（1 吉林农业科技学院 吉林 132101；2 彩虹光伏（合肥）有限公司 合肥 230000）

摘要： 针对我国目前已有的水稻机械化直播中排种器的使用和研发现状，以及虚拟样机技术和离散元模拟仿真在农业机械设计上的应用，研究了利用 CATIA 软件改进设计一种新型气吸式水稻排种器，运用 CFD-DEM 耦合技术完成排种器工作过程仿真，并将结果于台架试验进行比较，从而得出排种器的最优结构参数。

关键词： 气吸式；排种器；虚拟设计；仿真

中图分类号：S223　　文献标志码：B

引言

在我国当前水稻的种植面积达到了 4.6 亿亩，已经成为世界上最大的种植水稻的国家。水稻机械化种植主要有机械移栽和机械直播两种，机械直播是将水稻种子直接播到田地里，省去了育秧、起秧、移栽等环节，且分蘖节位低，后期长势好，增收增产，现已在很多地区推广应用。但是我国的水稻直播机械化整体水平较低，并且直播机的结构较为复杂、笨重，作业性能还不够稳定。另外，目前市面上开发的水稻直播机不适合旱地作业，并且直播机的价格过高，这些都不利于水稻直播技术的推广。

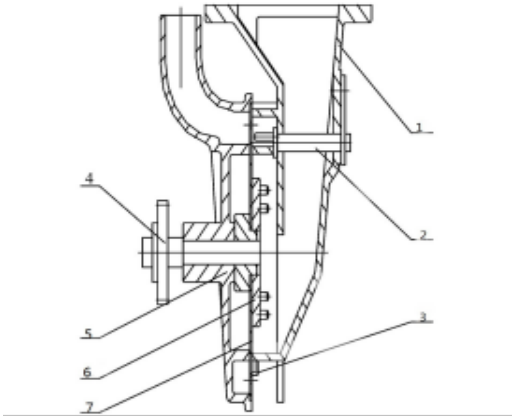
播种机的关键部件是排种器，其工作性能的好坏直接影响着播种精度、均匀度，种子的出苗率等。在发达国家，气力式排种器的研究已相对成熟。我国的排种器研究设计的方法一直采用样机设计、试制、试验、改进设计、再试验传统设计方法，研制周期长、成本高。随着计算机软件技术的发展，将虚拟样机技术应用于农业机械设计中，可使生产周期长，成本高等问题得到显著改善[1-2]。本文主要介绍利用 CATIA 软件改进设计一种新型排种器，运用基于 CFD-DEM 耦合技术完成新型气力式排种器工作过程仿真[3-5]，并于台架试验进行比较，旨在为数字化设计提供理论依据。

Copyright © (2019) Francis Academic Press, UK DOI: 10.25236/icess.2019.405

1 基于 CATIA 气吸式排种器设计方案

1.1 组成结构及工作原理

气吸式排种器的具有排种精密度高、通用性好、对种子的适应性较强、对种子无伤害的特点。其结构简图如图 1 所示，当排种器工作时，电机将风机驱动，风机工作时会使气室中产生负压；排种盘上存在型孔，型孔由于负压的存在会使排种盘两侧产生压力差；驱动轴带动传动机构转动，传动机构带动排种盘转动;种室中的种子在型孔两侧压力差的作用下，吸附在排种盘随排种盘转动;图中的清种装置可将型孔上吸附的多余的种子清除，清掉的种子落到种子式中待再次利用；由于结构上的设计，在排种口是不存在负压的，当种子转动到此处时，种子在自身重力的影响下自由落下，排出排种器实现排种工作。



1.种子室 2.清种装置 3.推种器 4.传动机构 5.气室 6.搅种轮 7.排种盘

图 1 气吸式排种器结构简图

1.2 设计思路

根据组成结构和工作原理，确定设计路线，具体设计思路如图 2 所示。

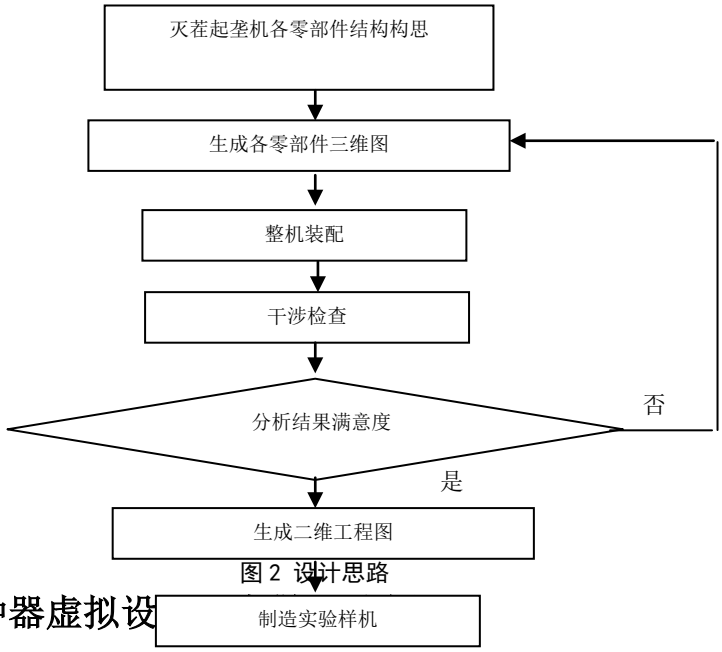


图 2 设计思路

2 气吸式排种器虚拟设

2.1 主要零部件建模及虚拟装配

排种器的主要零件包括吸气室、种盘、刮种器、清种轮等，将组成机器的所有零部件经过三维建模后在虚拟环境下装配在一起就是虚拟安装，进而形成完整机器的模型，如图 3 所示。

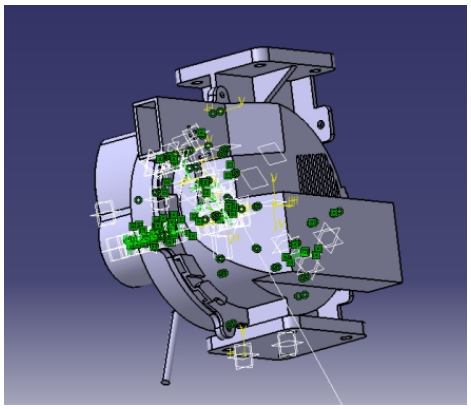


图 3 整机三维模型

2.2 转速、型孔数对流场的影响[6-8]

（1）转速对流场的影响：选用四种种不同的转速 5rpm、15rpm、25rpm、30rpm 分析流场的变化，将单位换成 rad/s，即 0.52rad/s、1.57rad/s、2.6rad/s、3.14rad/s，压力选-3kpa，仿真结果如下图 4 所示。从左到右依次为转速 5rpm、15rpm、25rpm、30rpm 下的压力云图。

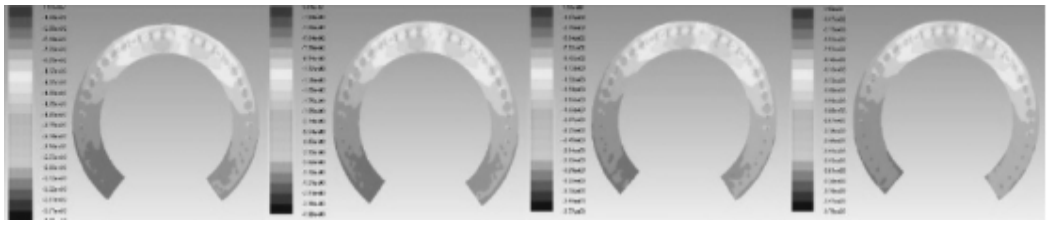


图 4 不同转速下真空室压力云图

从图 4 可以看出，无论转速怎样变化，相应位置的几乎压力值保持不变，而且不同转速下的压力场分布几乎相同，两侧值偏小，中间值偏大，由于型孔与真空室直接接触，所以型孔中的风压值应与型孔所在的真空室位置有关。

（2）不同型孔数量时流场的影响：选用三种不同型孔数量的排种盘，孔数依次为 30、40、50 个，如下图 5 所示。仿真结果如图 6 所示从左到右依次为孔数为 50、40、30 下的压力云图。

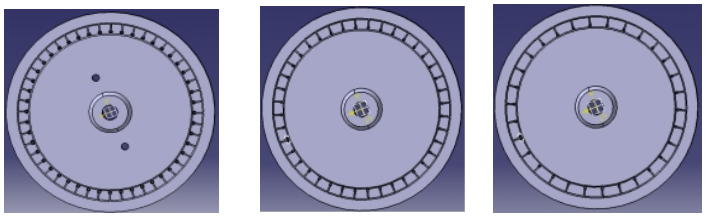


图 5 排种盘

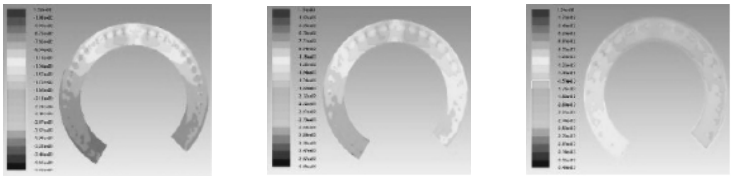


图 6 不同孔数的压力分布

从图 6 可知当孔数较多时压力分布不均匀，而且压力场值偏小，呈现出上下端压力分布差距较大的现象。当孔数减少到一定程度，压力分布较为均匀，且压力值较大。表明减少型孔的数目有利于得到稳定、充足的流场，较少型孔的数目可有效的减少流场的扰动。

2.3 EDEM 与 Fluent 耦合仿真分析

2.3.1 数设置过程[9-10]

（1）建立模型或通过三维画图软件导入。

（2）设置几何体的属性。

（3）设置颗粒工厂。

（4）设置时间步长。

（5）打开 Creator 面板，打开耦合开关，等待与 Fluent 连接。

（6）设置 UDF 路径。

（7）选择耦合方式。

（8）设置结果文件保存设置。

（9）设置时间步长，为保证仿真结果的合理性 EDEM 的时间步长应小于 FLUENT 的时间步长，而且两者应是整数倍的关系。本文设置 EDEM 的时间步长为 4e-5s，FLUENT 的时间步长为 8e-4s，设置每 50 步保存一次，即 0.04s 保存一次。

2.3.2 仿真结果分析

此前，本研究通过对某品种水稻做排种台架试验，得出了最优组合为：孔径为 2.2mm、真空度为 3.0kpa、转速为 30r/min，此时排种质量最好，合格指数为 87.80%、重播指数为 7.15%、漏播指数 5.05%。为准确比较台架试验与仿真结果，应保证仿真条件与台架试验条件相同。

对排种过程进行模拟仿真，仅能尽量的模拟机体运动过程和运动条件，与台架试验会存在差异。台架试验运用智能计算机和工业摄像机结合分析数据，通过工业摄像机捕捉种子颗粒，通过智能计算机的处理可直接获取数据。仿真需要通过观察人工记录，数据如下表 1 所示，并与台架试验进行对比如表 2 和 3 所示。

表 1 仿真数据记录表

型孔	种数（个）	累加（个）
第一个	2	2
第二个	1	3
第三个	1	4
第四个	2	6
第五个	2	8
……	……	……
……	……	……
……	……	……

整理数据，与试验数据对比如下表 2

表 2 数据对比

	合格指数（%）	漏播指数（%）	重播指数（%）
仿真数据	83.65	6.38	9.97
试验数据	87.8	5.05	7.15

为充分比较仿真数据与试验数据，现改变仿真条件比较转速为 35r/min、转速为 40r/min，整理数据如下表 3 所示：

表 3　改变转速下的数据对比

转速		合格指数（%）	漏播指数（%）	重播指数（%）
35r/min	仿真数据	83.51	5.23	11.26
	试验数据	80.26	9.98	9.76
40r/min	仿真数据	78.12	6.71	15.17
	试验数据	75.48	12.06	12.46

将三种转速下的合格指数、漏播指数、重播指数，分类绘制折线图对比，如图 7-9 所示：

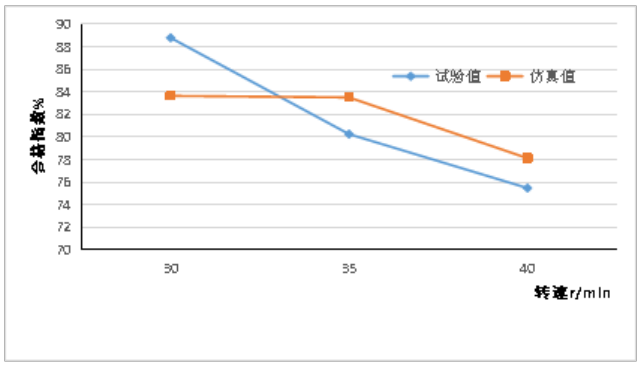


图 7 合格指数对比

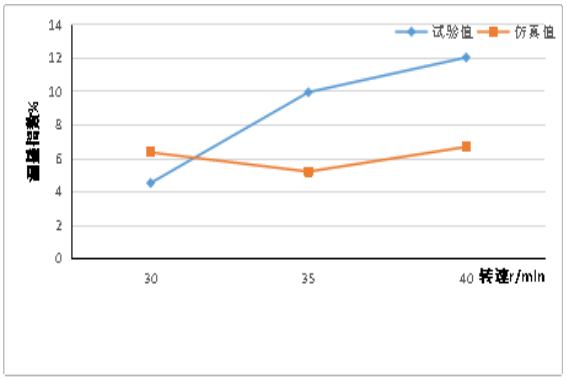


图 8 漏播指数对比

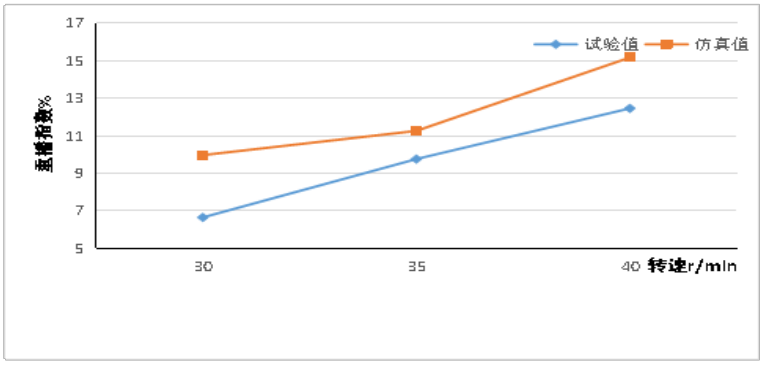


图 9 重播指数对比

由图 9 可知，对于重播指数而言，仿真所得的重播指数要大于试验所获得的，造成该此现象的原因可能跟试验过程中机器设备的震动和排种器的密封程度有关。机械震动是不可避免的，震动造成型孔中籽粒的脱离，从而影响重播指数。密封程度影响着真空度，试验时存在密封不严的情况，影响风机输入排种器的风压，进而影响重播指数。由图 7-9 可以看出，仿真值与试验值均存在一定误差，但折线图中的走势是相同的。随着转速的增加仿真值与试验值的合格指数均下降，而且下降走势明显，漏播指数则上升，说明转速对合格指数与漏播指数影响较大。虽然仿真值与试验值存在明显的误差，但误差不大，而且仿真分析也能同试验一样展示相同指标的变化趋势。

3 结论

（1）应用 CATIA 软件对排种器进行虚拟设计，可以缩短研发周期，提高产品设计质量

（2）重播指数可能跟试验过程中机器设备的震动和排种器的密封程度有关,震动造成型孔中籽粒的脱离，从而影响重播指数；试验时存在密封不严的情况，影响风机输入排种器的风压，进而影响重播指数。

（3）虽然模拟仿真与台架试验数值上存在误差，但误差不大，不会影响机器的参数及工作效果，说明此方法可以为数字化设计提供一定的理论依据。

Acknowledgement

In ths paper, the research was sponsored by the 13th Five-Year Scientific and Technological Research Fund of Jilin Provincial Education Department (Project No. JJKH20180738KJ).

References

[1] Mingzhe. Modeling of the prototype of stubble and ridge tillage machine based on CATIA[J].Agricultural Mechanization Research, 2016.3（3）：139-143

[2] Cui Hongmei, Chen Fude, Du Wenliang. Experimental study on metering performance of air-suction precision metering device for maize [J].Agricultural Mechanization Research, 2014，3（3）:154-158.

[3] Wang Xiaodong, Wang Weibing, Ma Huayong, et al. Theoretical analysis and research of vertical disk air-suction metering device [J]. Agricultural mechanization research, 2017,2(2) 3-4

[4] Zhang X, Vu-Quoc L. Simulation of chute flow of soybeans using an improved tangential force displacement model [J]. Mechanics of Materials, 2000, (32): 115-129.

[5] Li Zuji, Song Shaoyun, Li Zhifang, et al. Preliminary study on Coupling Simulation of gas-solid two-phase flow in rice milling process [J]. Food and feed industry, 2015 (11): 1-4.

[6] Sakaguchi E,Suzuki M, Favier J F, et al. Numerical simulation of the shaking separation of paddy and brown rice using the discrete element method [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2001, 79(30): 307-315.

[7] R.C. Singh，G. Singh，D.C. Saraswat．Optimisation of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting of groundnut (Arachishypogaea) seeds[J]. Indian Journal of Agricultural Sciences，2007，77（1），40-42.

[8] I.Dursuna,，K.M.Tuğrulb，E.Dursun. Some physical properties of sugarbeet seed[J]. Journal of Stored Products Research，2007，43，149-155．

[9] M.Bülent Coşkun，İbrahim Yalçın，Cengiz Özarslan. Physical properties of sweetcorn seed(Zea mays saccharata Sturt.)[J]. Journal of Food Engineering，2006，74，523-528．

[10] Sun Shuchang. Simulation and analysis of working process of air-breathing precision metering device for maize based on DEM-CFD coupling [D]. Jilin University, 2016.