

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.S0.006

侧正压玉米排种器流场模拟与试验*

杨善东^{1,2} 张东兴¹ 高振强² 刘晓倩²

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 淄博 255049)

摘要: 为了分析工作参数对侧正压玉米排种器内部流场分布的影响,用 Fluent 软件的大涡模拟方法(LES)分析了排种器内部的正压气室流场,研究了不同参数下排种器内部流场的变化规律。分析表明,进气口压力恒定时,随着转速的增加,压力场分布变化较小,基本数值波动不大;根据速度场分析,当转速较高时,充种区气流流速变小,易造成种子充填性较差。当转速恒定时,进气口压力在一定范围内变化,排种器内部压力场分布变化较小,说明压力变化对种子充填性能影响不大。根据排种试验,进气压力 1.2 kPa,排种盘转速 16 r/min 时,排种合格指数达到 91.30%,且排种盘转速是影响排种性能的最显著因素。

关键词: 玉米排种器 侧正压 工作参数 模拟分析

中图分类号: S223.2⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)S0-0035-05

引言

气力式排种器由于具有不伤种子、整机通用性好、作业速度高的优点,在精量播种机上得到广泛应用。排种器内部气相流场的分布情况和工作参数对排种性能具有重要影响,目前对气力式排种器流场分析方面,王永维等对气吸式水稻育秧整盘播种机吸孔进行了流场模拟与播种试验^[1];王朝辉对气吸式滚筒精密播种机的气室流场进行了仿真与试验研究^[2];赵湛对气吸振动式精密排种器进行了理论及试验研究^[3];廖庆喜等对气力式油菜精密播种器流场进行了仿真分析^[4];其他学者的研究也仅限于气吸式排种流场研究^[5-11],对气压式排种器的流场分析研究较少。所用的研究模型基本上是 Fluent 软件中统观模拟方法中的 $k-\epsilon$ 双方程模型和雷诺应力模型以及 ANSYS 软件。而 Fluent 微观模型中的大涡模拟方法可以模拟较高雷诺数和较复杂的湍流运动,可以获得比雷诺平均模拟更多的湍流信息,可得到精度较高的真实瞬态流场^[12]。

本文采用 Fluent 软件微观模拟方法中大涡模拟方法(LES)模拟侧正压玉米排种机构不同参数下的内部流场分布,包括压力场和速度场,分析影响侧正压玉米排种机构内部流场分布的因素,并在此基础上研究充种排种性能稳定时的流场分布,以及不同参数下排种器内部流场的变化规律。

1 侧正压玉米排种器结构与物理模型的建立

排种器如图 1 所示,动盘圆周沿径向方向加工有充种型孔。种子从入种口处进入,在托种板处形成种子堆,随着动盘转动,在气流作用下种子被压附于充种型孔,多余的种子被毛刷刷掉。在隔断气流区,气流被隔板隔断,种子在重力及离心力作用下从排种口排出。

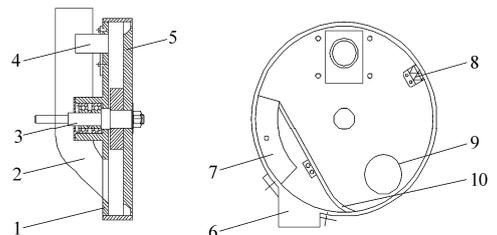


图 1 侧正压排种器结构

Fig. 1 Structure of side positive pressure seed-metering device

1. 定盘 2. 输种管 3. 排种轴 4. 进气管 5. 动盘 6. 排种口
7. 气流隔板 8. 清种毛刷 9. 入种口 10. 托种板

利用 UG 软件建立了侧正压玉米排种器内部流场的物理模型,并导入到 GAMBIT 进行了网格划分生成物理模型。侧正压玉米排种器定盘的直径为 250 mm,动盘直径 240 mm,排种器厚度为 40 mm,进气孔直径为 40 mm,输种入口直径为 40 mm,网格形式采用结构化网格,如图 2 所示,由于重点分析充种

收稿日期: 2014-07-30 修回日期: 2014-08-27

* 国家公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(200903059)

作者简介: 杨善东, 博士生, 山东理工大学副教授, 主要从事机械设计及农业机械化工程研究, E-mail: ysd362@sina.com

通讯作者: 张东兴, 教授, 博士生导师, 主要从事农业机械装备与计算机测控研究, E-mail: zhangdx@cau.edu.cn

型孔处的压力场与速度场,所以型孔处网格划分采用了局部加密的方法,网格总数共计 417 105 个。

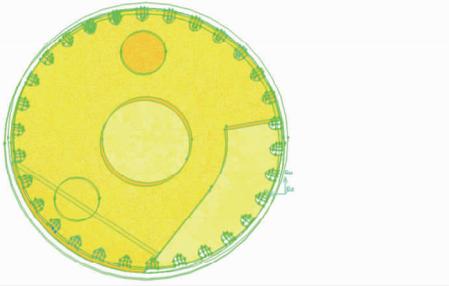


图2 侧正压玉米排种机构网格划分图

Fig. 2 Grid map of seed-metering mechanism

进口边界条件采用压力进口边界,进口压力 p 在 $0.8 \sim 2.0$ kPa 之间变化,出口边界为压力出口,出口压力为常压;气相采用常温空气,种子堆处采用多孔介质模型;壁面采用无滑移边界条件,气相湍流的壁面函数采用 CFD 中标准的壁面函数;模型中的动盘转速 n 在 $10 \sim 20$ r/min 之间变化。侧正压排种机构种子堆处设置为多孔介质区,选取玉米种子孔隙率 $\Phi = 0.383$,种子直径 $d = 10$ mm,利用半经验公式 Ergun 方程^[13],得到粘性阻力系数 $k = 1.016 \times 10^7$;惯性阻力系数 $c_2 = 3.844 \times 10^3$ 。

上述条件及数值为流场模拟时需要设置的必备参数。

2 侧正压玉米排种机构的流场模拟

根据对侧正压玉米排种机构排种性能初步试验及种子动力学分析^[14-15],进气口压力在 1.2 kPa 时能较好满足排种要求。为了分析转速变化时排种气室内压力场和速度场的分布情况,将进气压力设置成 1.2 kPa,转速设置成 12 r/min 和 18 r/min。

2.1 排种动盘转速对压力场的影响

由图 3 可以看出,进气口压力在 1.2 kPa 时,随着转速 n 的增加,压力场颜色基本均匀,只是颜色有深浅之分,说明气室内部压力变化不大,根据等高线图,基本数值在 $0.9 \sim 1.2$ kPa 内变化,但气室内部局部分布不均匀。气室下部为种子堆,属于多孔介质区,气流在此处所受种子阻力很大,所以气流流速很小,但内部孔隙与整个气室也是相通的,内部压力也较大。

根据气室内部充种型孔处的压力分布图,由等高线图可以看出,靠近充种型孔处压力值与气室内部流场差别不大,但充种型孔内部压力与气室内部压力差别较大,等高线颜色发生了明显改变,压力在 $0.45 \sim 0.8$ kPa 之间变化。随着排种盘转速增加,同一位置充种型孔内部压力略有增加,但数值增加不大。

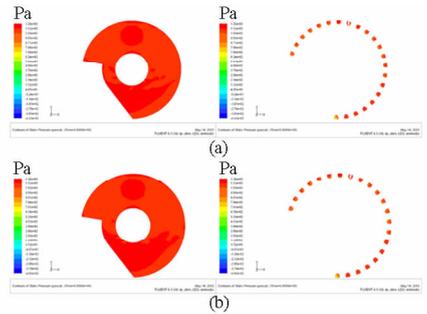


图3 排种器室和充种型孔处压力场分布

Fig. 3 Pressure field distribution of seed-metering device and filling hole

(a) $n = 12$ r/min (b) $n = 18$ r/min

2.2 排种动盘转速对速度场的影响

由图 4 可以看出,速度场在整个气室内部分布相对比较均匀,只是在进气入口处速度相对大一些,排种盘下部为种子堆,属于多孔介质区,阻力较大,所以此处速度较小,接近于零。在进气入口处,速度大约在 10 m/s 左右。当排种动盘转速为 12 r/min 时,由等高线图可以看出,气室内部靠近种子堆处,即排种动盘即将离开种子堆处,速度相对周围位置较大一些,因为此处速度受排种盘牵连速度影响,种子在气流流速的作用下被充分带动起来,流动性较好,充种型孔的充填性较好,从而较少发生漏播。而转速 $n = 18$ r/min 时,此处气流流速变小,种子流动相对变弱,再加上此处充种时间变短,造成种子充填性不好。

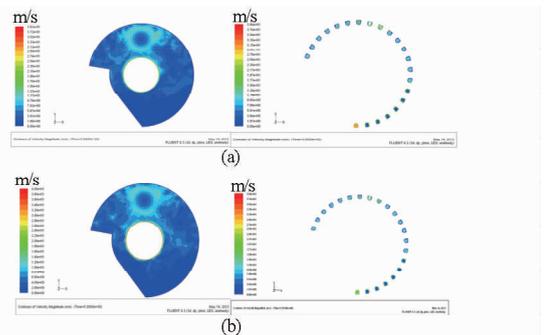


图4 不同转速气室内部和型孔处速度场分布

Fig. 4 Velocity distribution of seed-metering device and filling hole

(a) $n = 12$ r/min (b) $n = 18$ r/min

2.3 压力变化气室内部压力场和速度场的模拟

根据压力一定时转速变化排种气室内部压力场及速度场的分布,并且考虑实际作业时工作效率问题,排种盘转速在 16 r/min 时符合实际要求,并且能较好满足排种要求。为了分析排种盘转速一定、进气压力变化时排种气室内压力场和速度场的分布情况,将转速设置成 16 r/min,进气压力设置成 1.2 kPa 和 1.8 kPa。压力场与速度场模拟结果如图 5 所示。

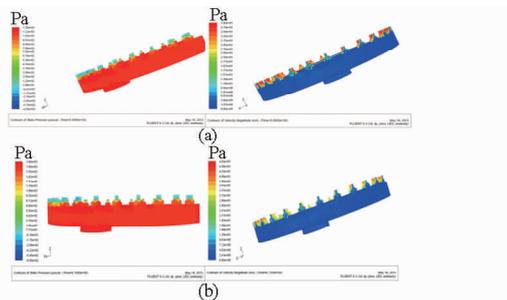


图5 排种器内部流场变化趋势图

Fig. 5 Variation trend of internal flow field of seed-metering device

(a) $p = 1.2 \text{ kPa}$ (b) $p = 1.8 \text{ kPa}$

由图可以看出,压力增加时,进气口和排种腔体内部的速度变化不大,但充种型孔出口速度相对变化较大。根据变化趋势分析,转速一定,进气压力发生变化,对排种器整个速度流场的分布影响不大。同时,风机压力增加,相对应排种腔体内部压力也均匀增加,但压力场分布并没有发生变化;说明风机压力对排种器排种指标影响不显著,也说明排种器工作压力适应范围较宽。

2.4 排种气室流场模拟结果分析

进气口压力在 1.2 kPa 时,随着转速的增加,压力场基本均匀,说明气室内部压力变化不大。速度场在整个气室内部分布相对比较均匀,当排种动盘转速较低,气室内部靠近种子堆处,即排种动盘即将离开种子堆处,速度相对周围位置较大一些,流动性较好,充种型孔的充填性较好。而转速大于 18 r/min 时,此处气流流速变小,种子流动相对变弱,再加上此处充种时间变短,容易造成种子充填性不理想。

根据进气口附近充种型孔内部速度场模拟分析,型孔内部速度明显大于其他型孔处速度,并且转速越高,这种趋势越明显,转速增加到 18 r/min 时,该处速度甚至达到了 $30 \sim 40 \text{ m/s}$,当排种盘携种转至此位置时,部分充填形态不稳定的种子容易在型孔内部出现弹跳现象,容易被吹跑造成漏播,影响排种性能。所以排种器转速不能过高,最好低于 16 r/min 。

3 试验

3.1 试验材料

试验种子采用郑单 958,为提高排种性能,对种子进行分级处理^[16],利用振动筛筛掉过大和过小的种子,经过测量,种子长度为 11.04 mm ,宽度为 9.19 mm ,厚度为 5.70 mm 。

3.2 试验方案

试验在 JPS-12 型排种器性能检测试验台上进

行,如图 6 所示。以影响排种性能最主要的 2 个因素(风机压力、排种盘转速)为对象进行试验^[17]。检测指标为合格指数、重播指数和漏播指数。

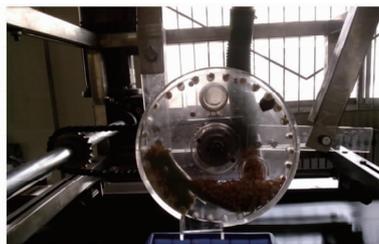


图6 JPS-12型排种器性能检测试验台

Fig. 6 JPS-12 seeding test-bed

3.3 试验过程及分析

为验证排种气室内部流场模拟结果,设定进气口压力 1.2 kPa ,排种盘转速分别取 12 、 14 、 16 、 18 r/min 进行排种试验。为了保证试验效果,对玉米种子进行分级处理,试验结果如表 1 所示。

表1 试验结果

Tab. 1 Experimental results

转速 $n/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	合格指数/%	重播指数/%	漏播指数/%
12	93.27	5.35	1.38
14	93.05	4.76	2.19
16	91.30	3.97	4.73
18	84.56	3.34	12.1

由表 1 可以看出,排种机构转速较低时,排种指标较好,重播指数、漏播指数均较低;当转速增加至 18 r/min 时,合格指数降低,漏播指数显著增加。试验中也观察到,当转速增加时,在充种区,有时种子因为转速太快来不及进入充种型孔造成漏播。在进气口处,随着转速增加,排种盘转至此处时,种子在型孔内跳动明显,甚至跳出型孔造成漏播。这与排种气室流场模拟结果一致,转速大于 18 r/min 时,充种区气流流速变小,种子流动相对变弱,再加上此处充种时间变短,容易造成种子充填性不理想。进气口处型孔内部速度明显大于其他型孔处速度,并且转速越高,这种趋势越明显,当排种盘携种转至此位置时,部分充填形态不稳定的种子容易在型孔内部出现弹跳现象,从而造成漏播。

根据气室流场模拟结果及试验分析,排种转速对排种性能影响较大,转速在满足工作效率前提下应取较低数值,所以排种转速 n 取 16 r/min 比较合适,此时播种机前进速度 $v = 7.2 \text{ km/h}$,满足排种要求。根据流场模拟分析及试验观察,进气口压力在 $1.0 \sim 2.0 \text{ kPa}$ 范围均能满足要求,综合考虑排种器排种携种充种的要求,进气压力采用 1.2 kPa 比较合适。

4 结论

(1)对侧正压玉米排种机构气室流场进行了模拟分析,分析表明,排种盘转速对排种性能影响显著。当转速大于18 r/min时,充种区速度场数值降低,将影响充种效果;进气口处型孔速度场数值明显增加,易导致种子出现弹跳影响携种。而排种转速增加,排种器室压力场分布变化不大,只是数值略有

变化;且进气口压力发生变化,气室内部压力分布亦变化不大,排种器工作压力范围较广。

(2)试验表明,排种器工作性能影响因素与流场模拟分析一致,排种器转速对排种指标影响显著,转速大于18 r/min时,排种合格指数下降明显。

(3)排种最佳工作参数为进气口压力1.2 kPa,排种转速16 r/min,此时播种机作业速度7.2 km/h,排种合格指数达到91.30%,满足实际作业要求。

参 考 文 献

- 左彦军,马旭,玉大略,等.水稻芽种窝眼窄缝式气吸滚筒排种器流场模拟与试验[J].农业机械学报,2011,42(2):58-62.
Zuo Yanjun, Ma Xu, Yu Dalue, et al. Flow field numerical simulation of suction cylinder-seeder for rice bud seed with socket-slot [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2):58-62. (in Chinese)
- 王朝晖.气吸滚筒式超级稻精密育秧播种器的基本理论与试验研究[D].长春:吉林大学,2010.
Wang Zhaohui. Research of theory and experiment on air suction airliner device for tray nursing seedling of super-rice [D]. Changchun: Jilin University, 2010. (in Chinese)
- 赵湛.气吸振动式精密排种器理论与试验研究[D].镇江:江苏大学,2009.
Zhao Zhan. Theoretical and experimental study on vacuum-vibration precision seeder [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2009. (in Chinese)
- 廖庆喜,杨波,李旭,等.内充气吹式油菜精量排种器气室流场仿真与试验[J].农业机械学报,2012,43(4):51-54.
Liao Qingxi, Yang Bo, Li Xu, et al. Simulation and experiment of inside-filling air-blow precision metering device for rapeseed [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(4):51-54. (in Chinese)
- Guarella P, Pellerano A, Pascuzzi S. Experimental and theoretical performance of a vacuum seeder nozzle for vegetable seeds [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1996, 64(1):29-36.
- Sigh R C, Singh G, Saraswat D C. Optimization of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseeds [J]. Biosystems Engineering, 2005, 92(4):429-438.
- 孙裕晶,马成林,王海.气力轮式精量排种器大豆排种过程试验研究[J].农机化研究,2006(10):147-150.
Sun Yujing, Ma Chenglin, Wang Hai. Experimental research on soybean seeds filling process of air-blown vertical-rotor seed-metering device [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(10):147-150. (in Chinese)
- 杨松华,孙裕晶,马成林,等.气力轮式精量排种器参数优化[J].农业工程学报,2008,24(2):116-120.
Yang Songhua, Sun Yujing, Ma Chenglin, et al. Optimization of parameters of air-blowing vertical-rotor type precision seed-metering device [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(2):116-120. (in Chinese)
- 杜辉,樊桂菊,刘波.气力式精量播种机与排种器的研究现状[J].农业装备技术,2002(3):15-16.
- 梁素钰,封俊,曾爱军,等.新型组合吸孔式小麦精量排种器性能的试验研究[J].农业工程学报,2001,17(2):84-87.
Liang Suyu, Feng Jun, Zeng Aijun, et al. Performance experiments of the seed-meter device with combined suckers [J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(2):84-87. (in Chinese)
- 袁月明.气吸式水稻芽种直播排种器的理论与试验研究[D].长春:吉林大学,2005.
Yuan Yueming. Research of theory and experiment on air suction seed-metering device for direct drilling of rice bud-sowing [D]. Changchun: Jilin University, 2005. (in Chinese)
- 张兆顺,崔桂香.流体力学[M].北京:清华大学出版社,2006.
- 林建忠.流体力学[M].北京:清华大学出版社,2005.
- 贺俊林,裘祖荣.新型气压式精量排种器的试验研究[J].农业工程学报,2001,17(2):80-83.
He Junlin, Qiu Zurong. Experimental study on a new type seed meter [J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(2):80-83. (in Chinese)
- 封俊,梁素钰,曾爱军,等.新型组合吸孔式小麦精密排种器运动学与动力学特性的研究[J].农业工程学报,2000,16(1):63-66.
Feng Jun, Liang Suyu, Zeng Aijun, et al. Kinematics and dynamics of a wheat seed in the seed-meter device with combined suckers [J]. Transactions of the CSAE, 2000, 16(1):63-66. (in Chinese)
- 刘佳,崔涛,张东兴,等.玉米种子分级处理对气力式精量排种器播种效果的影响[J].农业工程学报,2010,26(9):109-113.
Liu Jia, Cui Tao, Zhang Dongxing, et al. Effects of maize seed grading on sowing quality by pneumatic precision seed-metering device [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(9):109-113. (in Chinese)
- GB/T 6973—2005 单粒(精密)播种机试验方法[S].2005.
- 丛锦玲,余佳佳,曹秀英,等.油菜小麦兼用型气力式精量排种器[J].农业机械学报,2014,45(1):46-52.

- Cong Jinling, Yu Jiajia, Cao Xiuying, et al. Design of dual-purpose pneumatic precision metering device for rape and wheat[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(1): 46–52. (in Chinese)
- 19 胡建平, 郭坤, 周春健, 等. 磁吸滚筒式排种器种箱振动供种仿真与试验[J]. 农业机械学报, 2014, 45(8): 61–65.
Hu Jianping, Guo Kun, Zhou Chunjian, et al. Simulation and experiment of supplying seeds in box of magnetic precision cylinder-seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(8): 61–65. (in Chinese)
- 20 杨然兵, 柴恒辉, 尚书旗. 花生播种机倾斜圆盘碟式排种器设计与性能试验[J]. 农业机械学报, 2014, 45(6): 79–84.
Yang Ranbing, Chai Henghui, Shang Shuqi. Performance of metering device with declined disc peanut seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(6): 79–84. (in Chinese)

Flow Field Simulation and Working Parameters Analysis of Side Positive Pressure Maize Seeding Device

Yang Shandong^{1,2} Zhang Dongxing¹ Gao Zhenqiang² Liu Xiaoqian²

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. School of Agricultural and Food Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Abstract: In order to study working parameters' effect on flow field distribution in side positive pressure seeding device, LES (large eddy simulation) of Fluent software was used to analyze positive pressure flow field in seed-metering device. Simulation analysis and contrast experiment for positive pressure flow field were performed under different working parameters. Results showed that pressure field changed slightly in seeding device with increase of plate rotation speed when inlet pressure was set. According to velocity field, performance of seed metering was poor due to higher plate rotation speed. When plate rotation speed was set, pressure variation had non-significant effect on seeding performance. According to seeding experiment results, seeding qualified index reached 91.30% when inlet pressure was 1.2 kPa and plate rotation speed was 16 r/min. Rotation speed of seed-metering plate was the significant affecting factor of seed-metering performance.

Key words: Maize seeding device Side positive pressure Working parameters Simulation analysis