

吸盘式精密排种装置吸种过程气流场中种子受力研究^{*}

龚智强^{1,2} 陈进¹ 李耀明³ 李建华¹
(1. 江苏大学机械工程学院, 镇江 212013; 2. 巢湖学院电子工程与电气自动化学院, 合肥 238000;
3. 江苏大学农业工程研究院, 镇江 212013)

摘要: 运用计算流体力学软件 Fluent 研究了吸种区域气流场中的种子颗粒受力。选取相对压力、吸孔孔径、种子与吸孔的距离、种子姿态 4 个因素进行正交仿真试验,分析排种装置工作参数对气流场中颗粒受力的影响。建立了种子颗粒在气流场中受力数学模型,得出影响种子颗粒受力的因素主次顺序为:种子与吸孔的距离、种子姿态、相对压力、吸孔孔径。吸孔吸附距离范围为 0.34 ~ 1.90 mm。在精密排种装置试验台上进行试验,试验结果与理论分析基本吻合,表明了所建模型的正确性。
关键词: 盘式精密排种装置 气吸振动 数值模拟 颗粒受力
中图分类号: S223.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)06-0092-06

引言

气吸振动盘式精密排种装置吸种及携种过程中,吸种盘内为负压,通过负压气流作用力将种子吸附在吸种盘盘面吸孔上^[1-2]。排种装置吸种部件整体吸附性能与诸多因素密切相关,其中主要包括相对压力、吸孔孔径、种子与吸孔的距离、种子吸附姿态。吸种盘的相对压力、吸孔孔径是影响排种装置气流场的主要因素,种子颗粒在种盘振动激励作用下产生“沸腾”运动,种子之间碰撞关系复杂,不同吸孔吸附的种子姿态差异较大,这些因素直接关系到种子颗粒的吸附及携种过程的稳定性。有学者在计算小颗粒种子受力时,假设颗粒为球形体^[3-4],但超级稻种子为非球形颗粒,因此在进行颗粒受力计算时不能简化为球形颗粒,应综合考虑吸种时吸附姿态的影响。目前精密排种装置气流场中种子颗粒受力的理论计算结果与实际值存在一定偏差,吸种装置的气流场分布为非均匀气流场,种子颗粒为非球形,颗粒受力关系复杂。

CFD 数值计算在农业机械领域的应用得到了较好的验证。通过 CFD 技术,可利用计算机分析并显示气流场中的现象,使分析结果可视化、直观化,并能在较短时间内预测流场^[5-10]。本研究采用 Fluent 软件数值模拟吸种盘气流场中种子颗粒的受力,选取相对压力、吸孔孔径、种子与吸孔的距离、种

子姿态 4 个因素进行气流场中单颗粒种子受力正交仿真试验,得出各因素对种子受力的影响,建立种子在气流场中受力数学模型。

1 排种装置气流场及流体力学理论

气体密度随着压强或温度的变化而变化的性质,叫做气体的压缩性,它是气体的重要属性,通常用马赫数来判别流动气体是否可压缩^[11-13]。马赫数是流场中任意一点的速度 v 与该点处声速 a 的比值,用 Ma 表示, Ma 小于 0.3 时的气体绝热流动,可作为不可压缩来处理,马赫数大于等于 0.3 时,应作为可压缩来处理。 Ma 表达式为

$$Ma = \frac{v}{a} = \sqrt{\frac{v^2}{KRT}} \tag{1}$$

式中 v ——流体速度, m/s
 K ——气体比热比
 R ——气体常数, J/(kg·K)
 T ——气体绝对温度, K

试验用气压源工作时假定流量为 310 m³/h,排种装置吸种盘气流进口长度和宽度分别为 608 mm 和 289 mm。常温时气体比热比 $K = 1.4$, 气体常数 $R = 287$ J/(kg·K), 绝对温度 $T = 293$ K, 计算得到马赫数 $Ma \approx 0.13 < 0.3$, 故吸种盘流体区域气体可作为不可压缩进行计算。

根据雷诺数 Re 来判断流场类型,通常情况下:

收稿日期: 2013-07-02 修回日期: 2013-08-02
^{*} 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20103227120010)、江苏省 2012 年度普通高校研究生科研创新计划资助项目(CXZZ12_0661)、江苏省高校自然科学研究重大资助项目(11KJA460002)和江苏高校优势学科建设工程资助项目(苏财教〔2011〕8号)
作者简介: 龚智强, 博士生, 巢湖学院讲师, 主要从事机械系统动态仿真技术和机构学研究, E-mail: gzhq2008@126.com
通讯作者: 陈进, 教授, 博士生导师, 主要从事智能化农业装备和机器系统监测与控制研究, E-mail: chenjinjd126@126.com

当 $Re < 2\,300$ 时,一般为层流;当 $Re > 4\,000$ 时,一般为湍流;当 $2\,300 < Re < 4\,000$ 可能是层流,也可能是湍流,与流动环境有关。对于内流问题,当雷诺数大于 $2\,300$ 时,应用湍流模型进行分析^[11-13]。雷诺数为

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \tag{2}$$

式中 ρ ——流体密度, kg/m^3
 μ ——粘性系数, $\text{Pa}\cdot\text{s}$
 D ——水力直径, m

标准大气压下,空气密度为 1.2 kg/m^3 ,粘性系数为 $1.8 \times 10^{-5}\text{ Pa}\cdot\text{s}$,计算种子颗粒所处吸种盘进口气流场的雷诺数 $Re = 18\,665.2 > 2\,300$,因此确定排种装置吸种过程中流场为湍流。

流体流动要遵循质量守恒、动量守恒和能量守恒,其在计算流体动力学中对应的方程为连续性方程、Navier - Stokes 方程、能量守恒方程,当流体流动处于湍流状态时,还需遵守湍流输运方程^[11-13]。

连续性方程

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \tag{3}$$

Navier - Stokes 方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = \\ - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \overline{u_i' u_j'} \right) + S_i \end{aligned} \tag{4}$$

湍流输运方程为

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \\ G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \\ C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \end{aligned} \tag{6}$$

式中 k ——湍动能 ε ——湍动耗散率

μ_t ——湍流粘度
 G_k ——平均速度梯度引起的湍动能产生项
 G_b ——浮力影响产生的湍动能产生项
 Y_M ——可压缩湍流脉动膨胀对总耗散率的影响
 $C_{1\varepsilon}$ 、 $C_{2\varepsilon}$ 、 $C_{3\varepsilon}$ ——经验常数
 σ_k 、 σ_ε ——湍动能和湍动耗散率对应的普朗特数
 S_i 、 S_k 、 S_ε ——源项

2 颗粒受力数学模型

种子颗粒在气流场中的运动属于气固两相流,

种子颗粒所受到的力主要有:流体阻力、重力、压强梯度力、浮力、附加质量力、Basset 力、Saffman 升力、Magnus 力。根据流体动力学知识^[12-14],可得流体阻力为

$$F_d = \frac{1}{2} C'_d \rho A |v - v_p| (v - v_p) \tag{7}$$

式中 C'_d ——非球形颗粒阻力系数

A ——颗粒相对速度方向的投影面积,或称为迎风面积, m^2

v_p ——颗粒速度, m/s

重力为

$$G = \rho_p V g \tag{8}$$

式中 ρ_p ——颗粒密度, kg/m^3

V ——颗粒体积, m^3

压力梯度力为

$$F_p = - V \frac{\partial p}{\partial l} \tag{9}$$

式中 $\partial p / \partial l$ ——压力梯度

浮力为

$$M = \rho V g \tag{10}$$

附加质量力为

$$F_m = \rho_p V \left(1 + \frac{C_p}{\rho_p} \right) a_p \tag{11}$$

式中 a_p ——颗粒加速度 C ——质量因子

Basset 力是因颗粒在粘性流体中作变速运动而增加的阻力,即

$$F_{Ba} = \frac{3}{2} d_p^2 (\pi \rho \mu)^{\frac{1}{2}} \int_{t_0}^t (t - t')^{-\frac{1}{2}} \frac{d}{dt} (v - v_p) dt' \tag{12}$$

式中 d_p ——颗粒当量直径, m

t_0 ——起始时刻, s

t' ——积分变量, s

Saffman 升力 F_s 是当固体颗粒在有速度梯度的流场中运动时,颗粒两侧的流速不同产生的由低速指向高速方向的作用力。

Magnus 力是指当固体颗粒在流场中存在旋转时,会产生一个与流动方向相垂直的由逆流侧指向顺流侧方向的力,其表达式为

$$F_M = \frac{1}{8} \pi \rho d_p^3 (v - v_p) \omega \tag{13}$$

式中 ω ——颗粒旋转角速度, rad/s

排种装置吸种过程中种子颗粒运动速度较低,无高速直线运动和旋转运动,并且气体密度远小于种子颗粒的密度,故在研究种子颗粒受力时可忽略附加质量力、Basset 力、Saffman 升力、Magnus 力和浮力的影响。

种子颗粒被吸附的条件为:向上的力之和大于

等于向下的力之和,其表达式为

$$\frac{1}{2}C_d'\rho A|v-v_p|(v-v_p)-V\frac{\partial p}{\partial l}\geqslant\rho_pVg\quad(14)$$

当种子颗粒向上作用的力之和大于向下的力之和时,种子便有一个向上的加速度,直到被吸孔吸附。

Guarella 提出气流场中种子颗粒受力模型^[15],吸孔中心虚拟原点处的速度为

$$v_i=\sqrt{\frac{2K}{K-1}RT\left[1-\left(\frac{p_i}{p_e}\right)^{\frac{K-1}{K}}\right]}\quad(15)$$

式中 p_i ——吸孔口绝对压力,Pa

p_e ——标准大气压力,Pa

吸孔流量 q 表达式为

$$q=\frac{\pi d_i^2 v_i}{4}\quad(16)$$

式中 d_i ——吸孔直径,m

距离原点为 x 处的气流面积为

$$A_x=2\pi(1-\cos\alpha)x^2\quad(17)$$

式中 α ——吸孔锥角,(°)

假设超级稻颗粒为椭球形颗粒,颗粒相对速度方向的投影面积(迎风面积)为

$$A=\frac{\pi L_1 L_2}{4}\quad(18)$$

式中 L_1 、 L_2 ——颗粒投影面椭圆长轴和短轴的长,m

距离原点 x 处的气流速度为

$$v_x=\frac{q}{2\pi x^2(1-\cos\alpha)}\quad(19)$$

代入式(7)可得种子颗粒受到的流体阻力为

$$F_d=\frac{1}{2}C_dA\rho v_x^2=\frac{C_dA\rho q^2}{8\pi^2(1-\cos\alpha)^2x^4}=\frac{C_dA\rho d_i^4 v_i^2}{128(1-\cos\alpha)^2x^4}\quad(20)$$

选择超级稻常优3号种子为研究对象,根据前期测试种子基础物理特性,将其简化为等体积椭球体(长、宽、高尺寸平均值为6.5 mm、3.4 mm、2.4 mm),单颗粒种子质量为 3.247×10^{-5} kg,标准大气压力 $p_e=101\,325$ Pa,吸孔锥角 $\alpha=90^\circ$ 。阻力系数 $C_d'=1.7C_dRe^{0.23}=7.182(C_d=0.44)$ 。种子颗粒长度方向、宽度方向、高度方向吸附时迎风面积 A 分别为6.409、12.252和17.357 mm²。计算得到3种孔径下种子吸附临界距离(种子中心与吸孔距离)随相对压力变化曲线如图1所示。

从图1可看出,种子颗粒的吸附临界距随相对压力和吸孔孔径的增大而增大,增大相对压力和吸孔孔径有利于增大种子颗粒的有效吸附面积。随种子颗粒迎风面积的增大,种子颗粒吸附临界距离逐

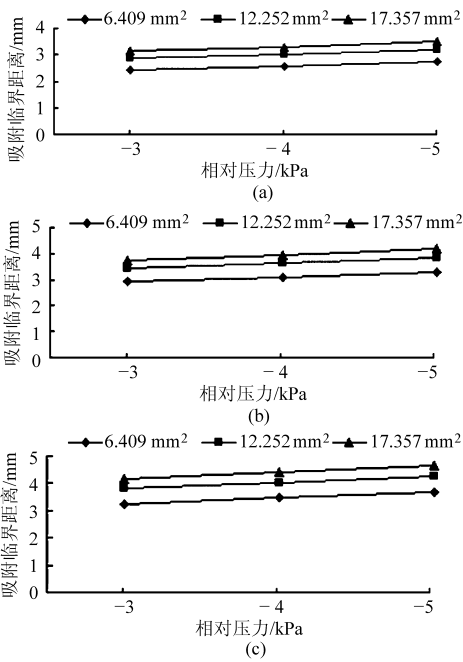


图1 不同吸孔孔径和迎风面积时种子吸附临界距离随相对压力的变化

Fig.1 Adsorption critical distance of seed vary with relative pressure at different suction hole and frontal area
(a) 1.5 mm (b) 1.8 mm (c) 2.0 mm

渐增大,在相同条件下高度方向的吸附临界距离最大,说明高度方向的种子最容易被吸附。当吸孔孔径为1.5 mm和1.8 mm,相对压力大于-5 kPa时,长度方向的吸附临界距离小于种子长度的一半,种子不能被吸附,这与试验存在一定偏差。

3 气流场中种子颗粒受力数值模拟

排种装置吸种盘吸孔周围的气流场为非恒定气流场,压力和速度变化大,种子颗粒受力应通过积分形式进行求解。种子在吸孔附近与气流场会产生复杂的耦合作用,压力和速度波动以及种子的吸附姿态等都会对种子受力产生影响,从而造成上述理论计算与种子的实际受力存在一定的误差,采用数值模拟方法可以进一步研究吸种过程种子颗粒在气流场中受力。

选择超级稻常优3号种子颗粒作为研究对象,建立单颗粒种子在吸种盘流场中的三维物理模型如图2所示。种子与吸孔的距离定义为种子上端面与吸盘面板吸孔中心点的距离,种子颗粒的吸附与下端种群“沸腾”运动密切相关,对于气吸振动盘式排种装置实际工作中的吸种距离需结合种群抛掷高度综合建模。在排种装置试验过程中发现,种子吸附姿态呈多样,其中主要吸附姿态有长度方向、宽度方向、高度方向、倾斜等形式。为方便仿真研究,分析前3种状态种子的吸附,种子其余吸附姿态可通过

采用迎风面积进行换算。种子颗粒吸附姿态如图 3 所示。吸种过程中种子运动速度相对气流速度较小,故假设种子初速度为零,无旋转运动,采用 FLUENT 软件对种子颗粒受力进行数值模拟。参考前面计算结果和前期试验研究选择相对压力、吸孔孔径、种子与吸孔距离、种子姿态进行正交仿真试验,试验方案与结果如表 1 和表 2 所示。种子颗粒周围气流场压力分布、速度分布以及速度矢量图如图 4~6 所示。

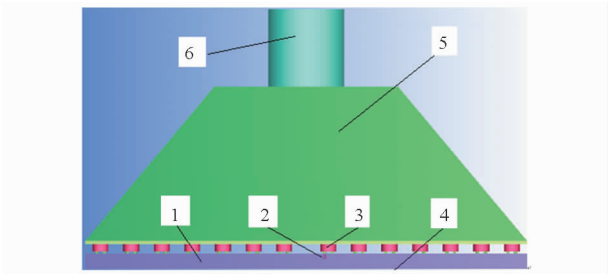


图 2 气流场区域仿真模型
Fig. 2 Model of airflow field simulation

1. 种子区域 2. 种子颗粒 3. 吸种部件 4. 气流入口 5. 吸种盘气流场区域 6. 气流出口

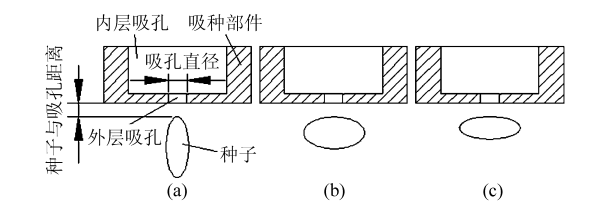


图 3 种子颗粒吸附姿态
Fig. 3 Attitude of suction seeds

表 1 正交仿真试验因素与水平

Tab. 1 Factors and levels of orthogonal simulation test				
水平	因素			
	相对压力	吸孔孔径	种子与吸孔	迎风面积
	a/kPa	b/mm	距离 c/mm	d/mm^2
1	-3	1.5	0.5	6.409
2	-4	1.8	1.0	12.252
3	-5	2.0	1.5	17.357

表 2 正交仿真试验设计与结果

Tab. 2 Experimental scheme and results of orthogonal simulation test					
试验号	A	B	C	D	种子受力/N
1	1	1	1	1	0.000 183
2	1	2	2	2	0.000 202
3	1	3	3	3	0.000 228
4	2	1	2	3	0.000 437
5	2	2	3	1	0.000 038
6	2	3	1	2	0.000 832
7	3	1	3	2	0.000 105
8	3	2	1	3	0.001 955
9	3	3	2	1	0.000 127



图 4 种子颗粒周围气流场压力分布

Fig. 4 Pressure distribution of airflow field around seed particle

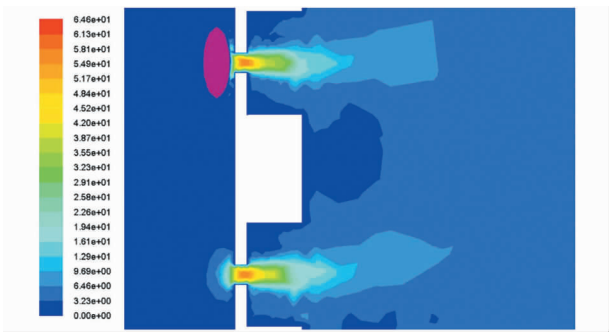


图 5 种子颗粒周围气流场速度分布

Fig. 5 Velocity distribution of airflow field around seed particle

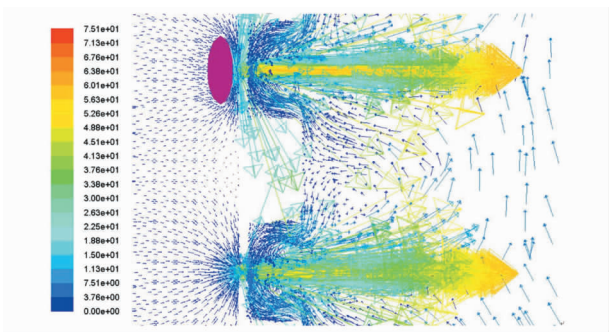


图 6 种子颗粒周围气流场速度矢量图

Fig. 6 Velocity vector of airflow field around seed particle

由表 2 仿真试验结果得出极差为: $R_A = 0.000\ 525$, $R_B = 0.000\ 49$, $R_C = 0.000\ 866$, $R_D = 0.000\ 757$ 。 $R_B < R_A < R_D < R_C$,故影响种子颗粒受力的因素主次顺序为:种子与吸孔的距离、种子迎风面积、相对压力、吸孔孔径,其中种子与吸孔的距离、迎风面积为主要因素,吸孔孔径和相对压力的影响相接近,在选取的数值水平下,相对压力影响略高。

从图 4~6 可看出,气流场中单颗粒种子对周围气流场吸孔处压力和速度分布都有影响,其中对压力的影响较小,对速度的影响随着种子颗粒与吸孔距离减小逐渐增加。从速度矢量图可发现,由于吸孔处种子颗粒的存在,阻碍了气流流动使得吸孔周围局部速度变大,气流流动速度方向发生了明显的改变。

采用 DPS 数据处理软件对试验结果进行分析,建立种子颗粒竖直方向受力 Y 与相对压力 a 、吸孔孔径 b 、种子与吸孔的距离 c 、种子姿态 d 之间的回归模型方程为

$$Y = 0.001\,433 + 0.000\,833a + 0.000\,134a^2 + 0.000\,835c^2 + 0.000\,446ac - 0.000\,032ad + 0.000\,194bc - 0.000\,077cd \quad (21)$$

经检验,该回归模型方程的 f 值为 25 954.823 1,显著水平 p 值为 0.004 8, p 值小于 0.05,表明回归模型有意义且显著,决定系数 R^2 为 0.999 99,说明模型拟合程度很高。

从回归模型看:随着种子与吸孔的距离 c 的增加,种子颗粒受力逐渐减少;随着迎风面积 d 的增加,种子颗粒受力逐渐增大。对于超级稻常优 3 号种子,其迎风面积 d 的范围为 6.409 ~ 17.357 mm²,根据回归方程可以求出种子颗粒倾斜等其他吸附状态下的受力。当种子与吸孔的距离 c 、种子姿态 d 一定时,吸孔孔径和相对压力越大,种子受力越大,排种装置吸种时,吸孔孔径越小,所需的相对压力越大。在相对压力为 -3 ~ -5 kPa 条件下:吸孔孔径为 1.5 mm 时,吸孔吸附距离范围为 0.34 ~ 1.55 mm;吸孔孔径为 1.8 mm 时,吸孔吸附距离范围为 0.37 ~ 1.74 mm;吸孔孔径为 2.0 mm 时,吸孔吸附距离范围为 0.38 ~ 1.90 mm。相同条件下,高度方向的种子颗粒受力大于宽度方向和长度方向,其吸附临界距离最大,相应的吸孔吸附距离范围最大。

4 种子颗粒吸附试验

在江苏大学自行研制的精密排种装置试验台上(图 7)进行试验。试验选择超级稻常优 3 号芽种作为试验对象,选择 3 种吸孔孔径 1.5、1.8 和 2.0 mm,通过控制器控制气压源实现相对压力的调节,通过压力表显示相对压力数值。采用细铁丝网将种子颗粒按照宽度方向和高度方向置于吸种盘下方种子区域的

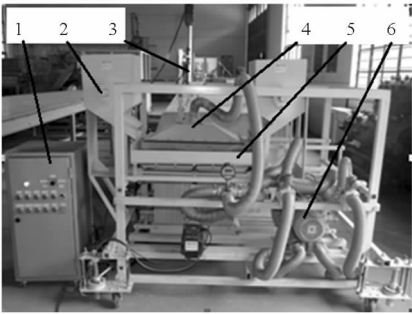


图 7 气吸振动式精密排种装置试验台
Fig.7 Experiment test of vacuum-vibration tray precision seeder device

1. 控制器 2. 料箱 3. 机械手 4. 吸种盘 5. 振动种盘装置
6. 气压源

气流场中,种子与吸孔距离通过 0.01 mm 精度的电子数显游标卡尺测量,试验重复 10 次,结果取平均值,试验结果如图 8 ~ 10 所示。

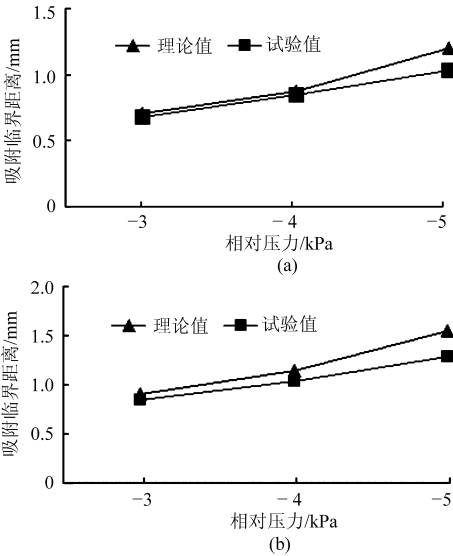


图 8 1.5 mm 吸孔不同迎风面积下种子吸附临界距离随相对压力的变化
Fig.8 Adsorption critical distance of seed vary with relative pressure at the 1.5 mm suction hole and different frontal area
(a) 12.252 mm² (b) 17.357 mm²

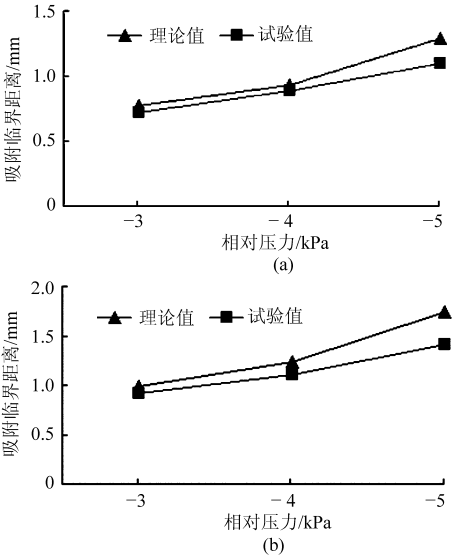


图 9 1.8 mm 吸孔不同迎风面积下种子吸附临界距离随相对压力的变化
Fig.9 Adsorption critical distance of seed vary with relative pressure at the 1.8 mm suction hole and different frontal area
(a) 12.252 mm² (b) 17.357 mm²

从图 8 ~ 10 可看出,试验结果与 Fluent 数值模拟理论值基本吻合,种子吸附临界距离的理论值与试验值都随相对压力和吸孔孔径的增大而增大,且两者较为接近,增加相对压力和吸孔孔径将有利于增大种子颗粒的有效吸附面积,增加种子颗粒的受力,但当相对压力和吸孔孔径过大时,排种过程中可

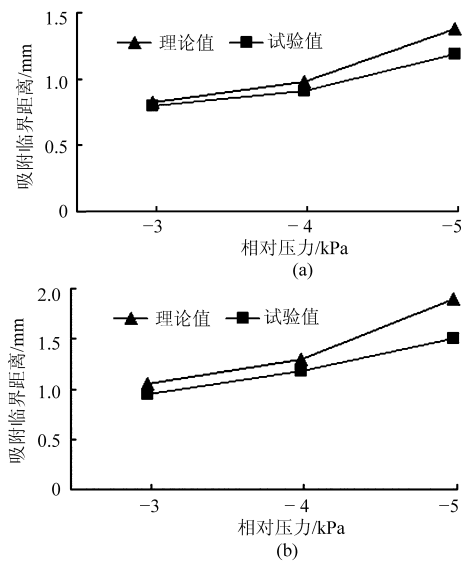


图 10 2.0 mm 吸孔不同迎风面积下种子吸附临界距离随相对压力的变化

Fig. 10 Adsorption critical distance of seed vary with relative pressure at the 2.0 mm suction hole and different frontal area
(a) 12.252 mm² (b) 17.357 mm²

能造成重播率的上升。种子吸附临界距离的理论值与试验值都随迎风面积(吸附姿态变化)的增大而增大,高度方向的吸附临界距离大于宽度方向,说明高度方向的种子越容易被吸附。

种子颗粒受力理论计算值(图 1)与试验结果和 Fluent 数值模拟结果存在一定偏差,故采用数值仿真方法具有一定优势。

5 结论

(1) 仿真模拟了排种装置气流场中种子颗粒受力,得到影响种子颗粒受力的因素主次顺序为:种子与吸孔的距离、种子姿态、相对压力、吸孔孔径,其中种子与吸孔的距离、种子姿态为主要因素,吸孔孔径和相对压力的影响相接近,相对压力影响略高。单颗粒种子对周围气流场吸孔处压力的影响较小,对速度的影响随着种子颗粒与吸孔距离减小逐渐增加,种子颗粒阻碍了气流流动使得吸孔周围局部速度变大,气流流动速度方向发生了明显的改变。

(2) 建立了种子颗粒受力的数学回归模型,得出:随着种子与吸孔的距离的增加,种子颗粒受力逐渐减小;随着迎风面积(种子姿态)的增加,种子颗粒受力逐渐增大,高度方向的吸附临界距离大于宽度方向,说明高度方向的种子越容易被吸附。当种子与吸孔的距离和吸附姿态一定时,吸孔和相对压力越大,种子受力越大。排种装置吸附种子时,相对压力与孔径应合理匹配,小孔径需较大的相对压力。在相对压力 -3 ~ -5 kPa,吸孔孔径 1.5 ~ 2.0 mm 时,吸孔吸附距离为 0.34 ~ 1.90 mm。

(3) 在精密排种装置试验台上进行种子颗粒吸附试验,试验结果与 FLUENT 数值模拟值基本吻合,但与种子颗粒受力理论计算公式计算值存在一定偏差,表明 FLUENT 数值模拟气流场中颗粒受力的方法可行,验证了所建模型的正确性。

参 考 文 献

- 1 陈进,李耀明.气吸振动式播种试验台内种子运动规律的研究[J].农业机械学报,2002,33(1):47-50.
Chen Jin, Li Yaoming. Study on seeds movement law in sowing test stand with suction and vibration[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002, 33(1): 47-50. (in Chinese)
- 2 赵湛,李耀明,陈进,等.种群空间分布状态对排种器吸种性能的影响[J].江苏大学学报:自然科学版,2009,30(6):559-563.
Zhao Zhan, Li Yaoming, Chen Jin, et al. Influence of seeds spatial distribution on suction performance of precision vacuum seeder[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2009, 30(6): 559-563. (in Chinese)
- 3 Karayel D, Barut Z B, Özmerzi A. Mathematical modelling of vacuum pressure on a precision seeder[J]. Biosystems Engineering, 2004, 87(4): 437-444.
- 4 Singh R C, Singh G, Saraswat D C. Optimisation of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseeds [J]. Biosystems Engineering, 2005, 92(4): 429-438.
- 5 李鹏飞,徐敏义,王飞飞.精通 CFD 工程仿真与案例实战:FLUENT GAMBIT ICEM CFD Tecplot[M].北京:人民邮电出版社,2011.
- 6 Li Hongchang, Li Yaoming, Gao Fang, et al. CFD-DEM simulation of material motion in air-and-screen cleaning device [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 88: 111-119.
- 7 陈进,李耀明,王希强,等.气吸式排种器吸孔气流场的有限元分析[J].农业机械学报,2007,38(9):59-62.
Chen Jin, Li Yaoming, Wang Xiqiang, et al. Finite element analysis for the sucking nozzle air field of air-suction seeder [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(9): 59-62. (in Chinese)
- 8 李中华,王德成,刘贵林,等.气流分配式排种器 CFD 模拟与改进[J].农业机械学报,2009,40(3):64-68.
Li Zhonghua, Wang Decheng, Liu Guilin, et al. CFD simulation and improvement of air-stream distributive metering device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(3): 64-68. (in Chinese)
- 9 廖庆喜,李继波,覃国良.气力式油菜精量排种器气流场仿真分析[J].农业机械学报,2009,40(7):78-82.
Liao Qingxi, Li Jibo, Qin Guoliang. Simulation analysis on air current field of pneumatic precision metering device for rapeseed [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(7): 78-82. (in Chinese)

Design and Experiment of Corn Harvester Head with Reel Star Wheel

Hao Fuping¹ Chen Zhi² Zhang Zirui¹ Han Zengde¹ Gan Bangxing¹ Qiao Xiaodong¹

(1. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China
2. China National Machinery Industry Corporation, Beijing 100080, China)

Abstract: In order to improve the adaptability of row spacing, a new type of corn harvester with reel star wheel harvester head was developed. The corn harvester head was composed of the star wheel, the screw roller and stalk pulling roller. The star wheel had six fingers, and the screw roller could lift tilting corn and feed the corn in the picking device. And the stalk pulling roller were designed by analyzing the conditions of maize not pushing to break and single continuous feeding. Finally the performance of the corn harvester head was tested when working along row or inclined row or vertical row in field. The results showed that the corn harvester head could work along row or inclined row or vertical row, and the adaptability of row spacing was improved largely, when the operation speed was 1.1 ~ 1.5 m/s, star wheel speed was 50 r/min, lifting import roller speed was 1 300 r/min, and stalk pulling roller rotate speed was 1 050 r/min.

Key words: Corn head Reel star wheel Design Experiment



(上接第 97 页)

10 王朝辉,袁月明,董润坚,等. 超级稻育秧精密播种器内部流场的数值模拟[J]. 吉林农业大学学报,2009,31(6):781-784.
Wang Zhaohui, Yuan Yueming, Dong Runjian, et al. Numerical simulation for air field of air suction cylinder seeder [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2009, 31(6):781-784. (in Chinese)

11 朱红钧,林元华,谢龙汉. FLUENT 流体分析及仿真实用教程[M]. 北京:人民邮电出版社,2010.

12 林兆福. 气体动力学[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1988.

13 张兆顺,崔桂香. 流体力学[M]. 北京:清华大学出版社,2006.

14 孔珑. 两相流体力学[M]. 北京:高等教育出版社,2004.

15 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.

Seed Force in Airflow Field of Vacuum Tray Precision Seeder Device during Suction Process of Seeds

Gong Zhiqiang^{1,2} Chen Jin¹ Li Yaoming³ Li Jianhua¹

(1. College of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China
2. College of Electronic Engineering and Electrical Automation, Chao Hu University, Hefei 238000, China
3. Institute of Agricultural Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: Using the computer fluid dynamics software Fluent, the seed particle force in the airflow field of precision seeder device was analyzed. Selecting four factors (relative pressure, aperture of suction hole, distance of seed and suction hole, seed attitude), the seed particle force was studied through orthogonal simulation test, and the impact of precision seeder device working parameters on the particle force was analyzed. The mathematical model of seed particle force in airflow field was established, and the order of the effect factors was as following: distance of seed and suction hole, seed attitude, relative pressure, aperture of suction hole. The range of suction hole adsorption was 0.34 ~ 1.90 mm. Conducting experiment on the vacuum-vibration tray precision seeder device, the results of experiment were consistent with the theoretic analysis and show the correctness of the established model.

Key words: Tray precision seeder device Vacuum-vibration Numerical simulation Particle force