

# 新型气力精密排种器的空气动力学原理\*

左春桢 马成林 张守勤 王成和

(吉林工业大学)

**提 要** 提出一种具有控制充种室种子群结构的新型气力精密排种器的空气动力学原理。采用  $K-\epsilon$  湍流模型和 S M P L E 算法, 预测了充种室的流场, 数值计算结果和实验相附。数值预测出在充种室的不对称射流产生了一个有利于改善充种和清种的回流区。这种排种器已成功地用于精密播种机上。

**关键词** 精密播种机 空气动力学 排种器

## The Aerodynamic Principle of a New Air Precision Seed-Metering Device

Zuo Chun-cheng Ma Cheng-lin Zhang Shou-qin Wang Cheng-he

(Jilin University of Technology, Changchun)

**Abstract** This paper puts forward the aerodynamic principle of using nonsymmetrical jet for high filling seed frequency and cleaning the surplus seeds. A new type of air precision seed-metering device with high filling frequency has been designed in accordance with this principle. This paper also points out the characteristics of the nonsymmetrical jet in the APSD (Air Precision Seed-metering Device). The turbulence model involves  $K-\epsilon$  model. The numerical predictions are based S M P L E method. Through the comparisons between the predictions and the measurements, the validity of the mathematical model is confirmed. The predictions are made out for a large recirculation zone on the APSD chamber which is available for filling and cleaning seeds. This APSD has been demonstrated to be capable of highly increasing discharge seeds frequency of the seed-metering device. It has already been successfully used in the precision planter.

**Key words** Precision planter Aerodynamics Seed-metering device

精密排种器是精密播种技术的关键技术之一, 国内外精密播种具有向气力排种器发展的趋势。气力排种器是一种先进的排种装置, 由于其适应性强, 通用性好, 不伤种和对种子外形尺寸要求不严等优越性, 并可大大提高播种速度, 在发达国家已经得到广泛应用。现有气力排种器, 按工作原理可以分为三种: 气吸式、气压式和气吹式。其中气吸式原理有各种结

收稿日期: 1996-12-09

\* 国家自然科学基金及国家“九五”攻关项目

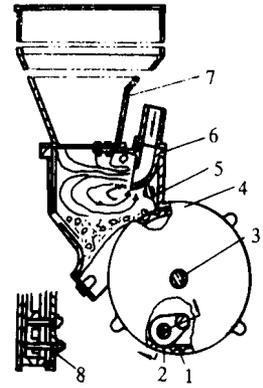
左春桢, 副教授, 长春市人民大街142号 吉林工业大学农机工程学院, 130025

构,我国何东健等还发明了组合吸孔气吸式排种器。但近几年的研究注意到了种子群之间的影响,如 . . . <sup>[1]</sup>的研究表明 CYCLO-500 型气压式排种器滚筒内种子层厚度对充种性能有很大影响,种子层太厚,增加了种子间的摩擦和碰撞,种子间易堵塞不易充填或把已压附种子碰掉,出现空穴. . . <sup>[2]</sup>对气吸式排种器的研究也发现充种室种子群状态不合理影响排种性能。因此,国际上现有精密播种机播玉米等大粒距作物时机速可达到 8~10 km/h,但播大豆等 3~5 cm 小粒距作物,播种机速不能高于 6 km/h<sup>[4]</sup>。

本文提出了另一种气力排种器的空气动力学原理。它的气压充种效果与气压式排种器相近,但在充种室产生卷吸气流作用,使充种室种子群形成合理状态,它首次从气流结构上解决了气压充种和防止种子群堵塞充种的问题,精播大豆等小粒作物机速可达到 8 km/h 以上。目前,这种排种器已应用于大豆等精密播种机上,正在进行推广应用。

## 1 构造及空气动力学原理

新型气力排种器基本构造如图 1 所示。它是在原气力轮式高速精密排种器基础上经改进后完成的。原排种器采用的气力充种措施只考虑了压力充种的作用,改进后的排种器通过组织充种室合理的空气动力结构,保证了充种室内有回流区,形成了对种子群的卷吸运动。所得到的气流结构如图 1 所示。来自风机的气流通过喷嘴射入受限结构的充种室内,由于 Corada 效应,喷嘴射流从喷嘴射出后,立即发生偏转,在充种室上部形成两个回流区,下部回流区在充种室流场占主导地位,它使沉降的种子群卷吸向上运动,避免种群在进入型孔前形成堵塞。另一方面,射流出口后,进入受限结构,这就形成了和自由射流完全不同的流场特性,其主要表现为静压不断增加,动量自出口后迅速减小,能量除消耗在回流阻力外,还造成了下部种子群到型孔底部两端的压差渗流,形成种子的动静压充填力。该充填力与重力一起将充种室内的种子吸附进型孔并压附在型孔底部,同时,排种轮经传动装置带动做匀速回转,型孔内的种子跟着旋转,在旋转过程中种刷及卷吸气流清除型孔外的多余种子。只剩下孔内的一粒种子随排种轮运行到投种点投出。被清除的多余种子由气流吹回充种区。



1. 型孔轮 2. 推种片  
3. 排种轴 4. 壳体 5. 种刷  
6. 喷嘴 7. 种箱 8. 盖

图 1 新型气力排种器

## 2 充种室的空气动力场

为了给回流区特性的分析提供可靠的理论依据,我们对充种室受限射流空气动力场进行了数学模拟。

### 2.1 数学模型

对受限的充种室流场进行数学模拟,使用的是  $K-\epsilon$  湍流模型<sup>[3]</sup>,基本方程为:

$$\text{连续方程: } \nabla \cdot (\rho V) = 0$$

$$\text{动量方程: } \nabla \cdot (\rho V V) = -\nabla P + \nabla \cdot (\mu_{eff} \nabla V) + \nabla V \cdot \nabla \mu_{eff}$$

$$\text{湍流动能: } \nabla \cdot (\rho V K) = \nabla \cdot [(\mu_{eff}/\sigma_k) \nabla K] + G_k - C_3 \rho \epsilon$$

湍流耗散:  $\nabla \cdot (\rho V \epsilon) = \nabla \cdot [(\mu_{eff}/\sigma_\epsilon) \nabla \epsilon] + C_1(\epsilon/K)G_K - C_2\rho(\epsilon/K)$

其中  $\mu_{eff} = \mu_i + \mu$ ,  $\mu_i = \sigma_\mu K^2/\epsilon$ ,  $G_K = \mu_i [\nabla V + (\nabla V)^T] \nabla V$

上述方程中, 各量均是时均值,  $V$  为时均速度,  $K$  为湍流紊动动能,  $\epsilon$  为湍流动能耗散率, 其余常数系模型经验系数<sup>[3]</sup>。

### 2.2 计算方法

采用 S M P L E 法求解上述方程, 微分方程首先用差分格式表达, 然后采用 A D I 逐行法与欠松弛迭代法求解离散方程, 这部分我们不再详述, 参见文献[3]。

考虑到出流边界(如图2), 用平面正交网格系统将积分区域网格化, 并使多孔介质边界与网格边界重合。若边界为实心固体, 则令固体内各网格的体空度  $P_{ov}$  和  $P_{oa}$  为零, 若为种子群多孔介质, 则令该介质内网格  $P_{ov}$  和  $P_{oa}$  的值介于零和1之间。具体值根据多孔介质孔隙率确定。

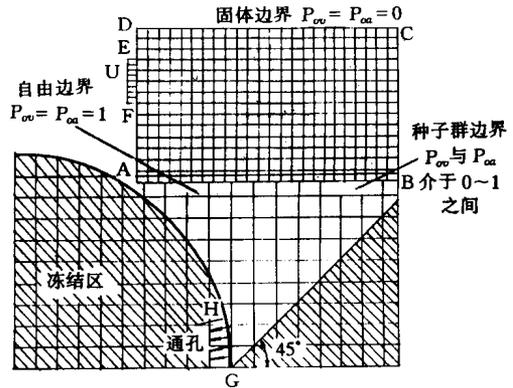


图2 多孔介质边界处理方法

### 2.3 计算结果与实验测量值的比较

由于试验测定湍流脉动流速受试验条件限制, 只采用三孔探针测量了压力。测定位置布置如图3所示。表1列出了对应点的试验值和计算值。从表1可以看出, 气源全压  $P_a = 3.43 \text{ kPa}$ , 入口流速  $U_m = 31.5 \text{ m/s}$  时, 最大相对误差为 15.78%, 说明试验测量值与计算结果符合得比较好。但总的来说计算结果都比实测结果偏高, 这是因为在模型建立过程中作了种种必需的假设与简化所造成的。

### 2.4 充种室湍流场结构预测

图4是进口速度  $20 \text{ m/s}$  时, 充种室上部受限射流的速度矢量图, 用平均速度计算出的流线图, 湍流动能等值线图( $\sqrt{K} \times 10^{-3}$ )和湍能耗散率等值线图( $\sqrt[3]{\epsilon} \times 10^{-3}$ )。可以看出, 喷嘴出口以后的主射流与平面壁相遇的时候, 发生了冲击射流截面重新分布、铺展和速度变形等现象。从湍流动能分布和耗散率分布可以看出, 与自由射流相比较, 喷嘴出口处湍流结构有很大变化, 湍流动能增加幅度较大。湍流动能的增大, 必然导致动量交换强烈, 这对卷吸种子是十分有利的。计算结果表明, 只要气源压力  $P_a = 2.94 \text{ kPa}$ ,  $Q = 9.68 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  ( $Re$  数仅为  $3.8 \times 10^4$ ), 就可进入湍流自模化区, 满足产生大回流区的充种室空气动力结构。种刷前形成的回流气流, 具有辅助清除种刷前种子的作用, 可减小种刷的磨损。

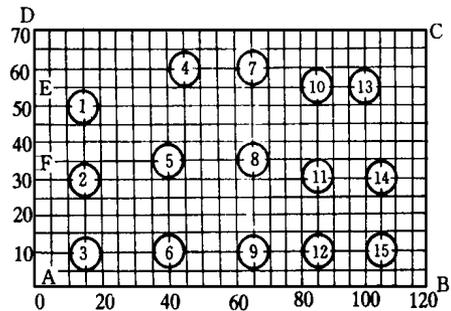


图3 充种室试验测点位置布置

表 1 试验结果和计算结果比较

工况 供气全压 $P_a=0.98\text{ kPa}$ $U_{in}=16\text{ m/s}$ $P_a=2.45\text{ kPa}$ $U_{in}=27\text{ m/s}$ $P_a=3.43\text{ kPa}$ $U_{in}=31.5\text{ m/s}$									
序号	静 压/Pa		计算-实验  实验值	静 压/kPa		计算-实验  实验值	静 压/kPa		计算-实验  实验值
	计算	实验		计算	实验		计算	实验	
1	735.2	725	1.3%	1.764	1.666	5.8%	2.489	2.302	8.1%
2	-132.3	-137	3.5%	-0.245	-0.215	13.6%	-0.392	-0.343	14.2%
3	151.9	137.2	10.5%	0.274	0.245	12.0%	0.431	0.372	15.78%
4	796.25	784.0	1.5%	1.862	1.764	5.5%	2.548	2.357	8.1%
5	784	735	6.6%	1.470	1.274	15.38%	2.45	2.254	8.6%
6	588	539	9.1%	0.784	0.686	12.5%	0.98	0.862	13.6%
7	840.3	813.4	3.3%	2.107	2.009	4.8%	2.818	2.548	10.6%
8	803.6	773	4%	1.96	1.862	5.2%	2.557	2.499	2.31%
9	686	637	7.8%	2.205	2.058	7.1%	2.45	2.303	6.3%
10	886.9	872	1.7%	2.254	2.156	4.5%	2.959	2.891	2.3%
11	813.4	744	9.2%	2.156	1.96	10%	2.912	2.793	4.2%
12	906.5	872.2	3.9%	2.371	2.058	15.2%	3.332	2.989	11.4%
13	918.75	882.0	4.1%	2.401	2.254	6.1%	3.161	3.038	3.74%
14	901.6	872.2	3.3%	2.352	2.107	11.6%	3.096	2.989	3.6%
15	891.8	833	7.05%	2.303	2.009	14.8%	2.989	2.891	3.3%

### 3 应用实践

#### 3.1 实验台架试验

应用新型气力精密排种器播种大豆, 经室内排种试验台测试证明, 随气源压力提高排种性能提高。在气源压力  $P_a=2.94\text{ kPa}$ , 流量  $Q=9.68 \times 10^{-3}\text{ m}^3/\text{s}$ , 3 cm 小粒距, 工作速度 8 km/h 时, 漏播率小于 2%; 若按 5 cm 粒距计算, 工作速度可达到 12 km/h。当气源压力  $P_a=3.91\text{ kPa}$ , 流量  $Q=11.3 \times 10^{-3}\text{ m}^3/\text{s}$ , 漏播率小于 2%。

#### 3.2 田间试验结果

应用该新型气力排种器的大豆精播机在田间播种大豆, 3 cm 粒距, 播种速率 6.24 km/h 时, 测量大豆出苗后的株距进行统计分析, 株距合格率为 72%。性能符合国家精密播种机标准。若换算为 5 cm 粒距, 则相当于作业速度为 10.4 km/h, 性能优于其它机器, 适合于小粒距作物的高速播种。

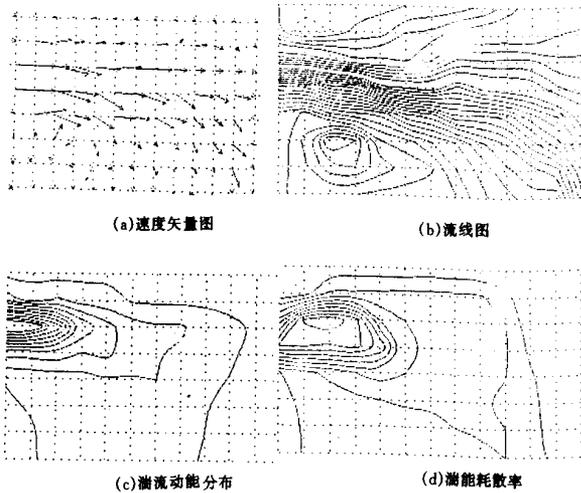


图 4 充种室流场结构

## 4 结 语

- 1) 通过控制充种室气流结构, 创造有利于充种的种子群条件, 将为提高小粒距作物高速精密播种开辟一条新路。
- 2) 气流不仅可以加强充填种子进入型孔, 而且卷吸气流具有清除多余种子的作用, 可减轻种刷磨损。
- 3) 空气动力场模型的计算结果与实验基本相符, 可用于工程设计的预测工作。

### 参 考 文 献

- 1 . . . . . , 1987(6): 25~ 27
- 2 M . . . . . 3 . . . . . -8 . . . . .  
. 1989(2): 33~ 34
- 3 左春桢 气力轮式精密排种器充填理论及试验研究: [学位论文] 长春: 吉林工业大学, 1991(6): 47~ 96
- 4 张泽平, 马成林, 左春桢 精密排种器及排种理论研究进展 吉林工业大学学报, 1995, 25(4): 112~ 117

## 欢迎订阅 1998 年农业科技期刊

### 《甘肃农业科技》

《甘肃农业科技》是甘肃省农业科学院和甘肃省农学会主办在国内外公开发行的综合性农业科技期刊, 1997 年荣获第二届全国优秀科技期刊三等奖和中国农口学会第二届优秀期刊奖, 1996 年入编《中国学术期刊(光盘版)》。主要报道有关旱地农业、农作物育种、果树蔬菜、土壤肥料、耕作栽培、病虫害防治、多种经营、农产品加工及农业决策等方面的技术和学术论文、研究成果、实用技术、国内外农业科技信息与发展动态综述、经验交流等, 并辟有主要文章英文目次和广告专页。在编辑上注重突出甘肃特色和报道的科学性、先进性、实用性、知识性及可读性, 不但适合农业科研、推广及农民技术人员阅读, 又可供各级农业行政管理、生产管理人员及农业院校师生参考。

本刊为月刊, 16 开本, 每期 48 页, 定价 2.00 元, 全年 24.00 元, 邮发代号 54- 8。

### 《江苏农业科学》

《江苏农业科学》为中国自然科学核心期刊, 全国及江苏省优秀科技期刊。着重报道农业分支学科实用技术研究的新成果和发展“三高”农业中的新技术、新经验等, 是您从事科研、生产及致富的指导性刊物和好帮手。

本刊逢单月 15 日出版, 国内外公开发行, 每期定价 2.50 元, 全年 15 元。邮发代号: 28- 10。各地邮局均可订阅。地址: 南京市孝陵卫江苏省农科院内 邮编: 210014 电话: (025) 4390282