

机采籽棉残膜分离机籽棉带出机理仿真

张若宇, 坎杂^{*}, 郭文松, 张海军, 安红磊, 郭淑霞, 丛腾达

(新疆生产建设兵团农业机械重点实验室, 石河子大学机械电气工程学院, 石河子 832003)

摘要: 为了实现籽棉残膜分离过程中, 减少棉花带出的损失。该文通过计算和试验方法分别得到了籽棉和破碎的地膜(简称残膜)悬浮速度 2.6、0.8 m/s。运用 Fluent 数值模拟方法, 分离室入口处风速分别设定为 3.5、4.0、4.5、5.0 m/s 时, 对关键分离区域的速度分布进行了数值仿真。结果表明: 入口速度为 4.0 m/s 时, 分布在 0.8~2.6 m/s 范围内速度值所占的比例分别为 85%~86%, 籽棉最不容易被带出。然后利用试验方法对仿真结果进行了验证, 结果表明: 模拟值与实测值差异较小。该研究为籽棉残膜分离机的优化设计提供了参考。

关键词: 棉花, 分离机, 仿真, 籽棉, 网状滚筒, 籽棉带出机理, 悬浮速度

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.01.004

中图分类号: S226.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-01-0017-05

张若宇, 坎杂, 郭文松, 等. 机采籽棉残膜分离机籽棉带出机理仿真[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 17-21.

Zhang Ruoyu, Kan Za, Guo Wensong, et al. Simulation on cotton dragout mechanism of mesh roller-type cotton and film remnant separator[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(1): 17-21. (in Chinese with English abstract)

0 引言

新疆棉花主要采用膜下滴灌种植模式, 导致棉花机械化采摘过程中易混入一定的残膜, 致使机采籽棉品质降低。近年棉花机采面积逐年增加, 2010 年达到了 17.13 万 hm^2 ^[1], 因此, 加快机采籽棉中残膜分离的研究迫在眉睫^[2]。现代先进的异性纤维检测方法主要有超声波检测^[3]、光电检测^[4]、近红外检测^[5]、高光谱检测^[6]等方法, 对象主要针对纺纱环节的皮棉, 难以有效应用于籽棉残膜的分离。国外由于棉花种植模式不同, 缺少借鉴的研究和设备。国内一些企业, 如山东天鹅^[7]、河北邯郸、南京工贸等, 进行了相关研究, 但大多尚处在研发、试制阶段^[8-9]。为有效剔除籽棉中残膜, 石河子大学研究开发了 6MCF-10 型网状滚筒式残膜分离机组^[10-11]。试验发现, 残膜分离机在有效分离出地膜的同时, 也带出了一定量的籽棉, 影响机采籽棉残膜分离机的分离质量^[12]。

为了分析残膜分离过程中的籽棉带出问题, 本文在研究分离物料特性的基础上, 提出对不同的入口风速的条件下影响籽棉带出的关键区域速度分布进行分析。利用 Fluent 的数值模拟方法对分离装置内关键区域流场进行仿真研究。采用试验测得的边界条件值与仿真得到的关键区域内流场的速度分布信息, 揭示籽棉残膜分离装置带出机理。

收稿日期: 2011-07-16 修订日期: 2011-09-19

基金项目: 国家十一五科技支撑项目(2009BADB0B01); 兵团科技支疆项目(ZJ2009011)

作者简介: 张若宇(1980-), 男, 安徽临泉人, 中国农业工程学会高级会员(E041200545S), 研究方向: 智能化农业机械。石河子 石河子大学机械电气工程学院, 832000。Email: ry248@163.com

*通信作者: 坎杂(1963-), 男, 新疆精河人, 教授, 中国农业工程学会高级会员(E041200076S), 研究方向: 农牧机械装备研究。石河子 石河子大学机械电气工程学院, 832000。Email: kz-shz@163.com

1 分离装置结构和工作原理

1.1 分离装置主要结构

机采籽棉残膜分离装置主要结构有分离室, 大小转动筛网, 闭风器, 籽棉入口(如图 1 所示)。籽棉和残膜由籽棉喂入口喂入, 在空气动力的作用下通过残膜流化开松机构, 然后进行分离室进行分离。本文主要对分离室内的分离过程进行分析。

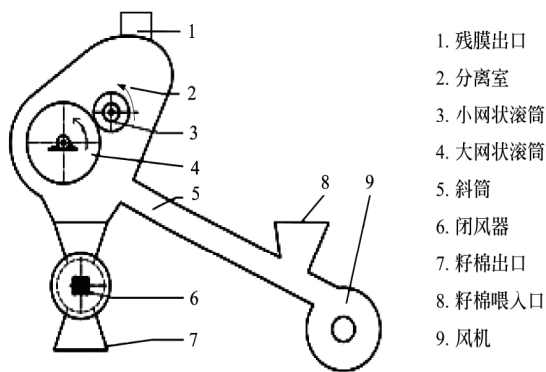


图 1 分离装置的基本结构图
Fig.1 Sketch of separator

残膜分离装置分离腔体为对称机构, 整体横向宽度为 1 800 mm, 其输棉斜筒横截面积由斜筒入口到斜筒出口逐渐增大, 斜筒入口 250 mm×250 mm 的正方形口, 斜筒出口为 200 mm×1 800 mm 的长方形口, 斜筒长度为 2 200 mm。

1.2 分离装置的工作原理

籽棉与残膜由籽棉喂入口进入斜筒。由于斜筒为扩散斜筒, 也就是横截面积逐渐增大, 进入斜筒后的籽棉、残膜在低压风机风力作用下会进行一定程度的开松, 开松后的籽棉进入分离室。

由于物料特性的差异,团状籽棉进入分离室后借助正压风力,冲大转网,然后由于自身重力和大滚筒离心力进而克服风力落入籽棉出口。残膜贴在大网状滚筒壁上在内外形成压差,残膜借助此压差作用克服离心力和自身重力紧贴在大网状滚筒壁上,并随着网状大滚筒逆时针转动,当接近逆时针旋转的小网状滚筒时,在离心力和流场风力的共同作用下,克服自身重力,沿流场方向冲向小网状滚筒继续上述运动过程,最后当受小网状滚筒离心力和分离腔体风力作用方向一致向上时,随即脱离小网状滚筒的吸附实现分离^[10]。

2 物料悬浮速度分析

为了实现籽棉与残膜分离,减少籽棉带出。物料悬浮速度研究是用于分析关键区域的气流速度是否高于残膜悬浮速度,而低于籽棉的悬浮速度。通过试验测得单片残膜的悬浮速度范围一般为 0.6~0.8 m/s,为了增大数据的适用范围,仿真时籽棉悬浮速度下限取 0.8 m/s。

籽棉悬浮速度是指单朵籽棉团在流体中处于悬浮状态时,流体的速度。此时,直径为 d 的类球状籽棉团将会在某一水平上呈悬浮状态,受到流体阻力 F_r 、重力 F_g 和流体浮力 F_b 作用达到平衡^[13-15],如图 2 所示。

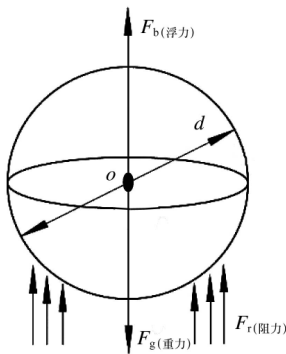


图 2 籽棉在垂直流场中受力状况

Fig.2 Acting force on unginned cotton in vertical airflow

$$F_g = F_r + F_b \quad (1)$$

$$F_g = mg \quad (2)$$

$$F_r = \frac{CA\rho_f v_t^2}{2} \quad (3)$$

$$F_b = \frac{m}{\rho_s} \rho_f g \quad (4)$$

当物料处于临界速度时,得

$$mg = \frac{CA\rho_f v_t^2}{2} + \frac{m}{\rho_s} \rho_f g \quad (5)$$

则临界速度

$$v_t = \sqrt{\frac{2mg(\rho_s - \rho_f)}{AC\rho_s\rho_f}} \quad (6)$$

式中, F_g 为重力, N; F_r 为浮力, N; F_b 为流体对物料的阻力, N; v_t 为物料的临界速度, m/s; m 为物料的质量, kg; ρ_s 为物料的密度, kg/m³; ρ_f 为流体的密度, kg/m³; A

为垂直于流体流动方向的投影面积, m²; C 为阻力系数, 无量纲。

由于加工中的籽棉形状无定型,在工程中对不规则形状物料的悬浮速度计算是困难的,因此,本文将不规则的单朵籽棉的几何平均直径作为籽棉的球形当量直径来计算,可用球形物料的临界速度计算方法,对于直径为 d 的球形物料,其质量 m 为 $\pi d^3 \rho_s / 6$,投影面积 A 为 $\pi d^2 / 4$,那么由式(6)得达到临界速度时的阻力系数^[13]。

$$C = \frac{4gd(\rho_s - \rho_f)}{3\rho_f v_t^2} \quad (7)$$

为采用查表法确定物料临界速度需消去 v_t^2 项,采用无因次量 CR_e^2 , 即

$$CR_e^2 = \frac{4g\rho_f d^3 (\rho_s - \rho_f)}{3\eta^2} \quad (8)$$

测量单朵棉花当量直径 $d=40$ mm, $\rho_s=43$ kg/m³, $\rho_f=1.23$ kg/m³, 另外空气运动粘度 η 取值为 14.8×10^{-6} m²/s, 得 $CR_e^2=1.3 \times 10^8$ 。由文献^[16]中球体的 R_e 和 CR_e^2 关系曲线图知 $R_e=0.7 \times 10^4$ 。

$$v_t = \frac{R_e \eta}{d \rho_f} \quad (9)$$

故由式(9)计算单朵籽棉的悬浮速度约为 2.6 m/s。

3 关键区域速度分布仿真

当分离室上侧的区域风速高于籽棉的悬浮速度时,部分籽棉则有可能随着地膜一起被分离出去,这是影响籽棉带出比的一个原因。通过仿真分析,以距小网状滚筒上边缘向上约 5 cm 至残膜出口下边缘向下约 30 cm 的流场区域(近似梯形区域)为影响籽棉带出比的关键区域,如图 3 所示。

因此,拟在已建模型的基础上适当改变参数,试探性找到经济入口风速,并对关键区域的速度分布进行预测。

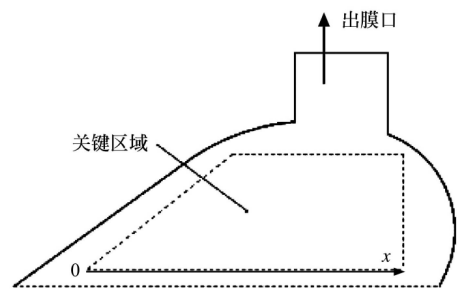


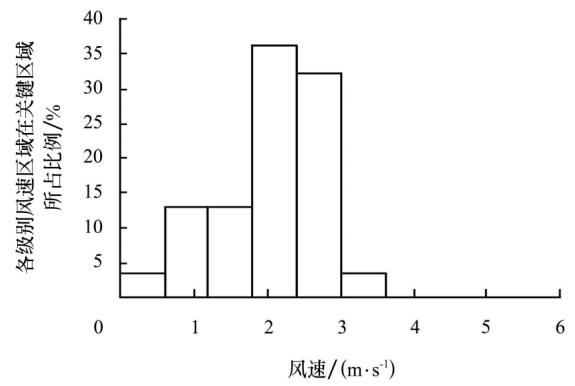
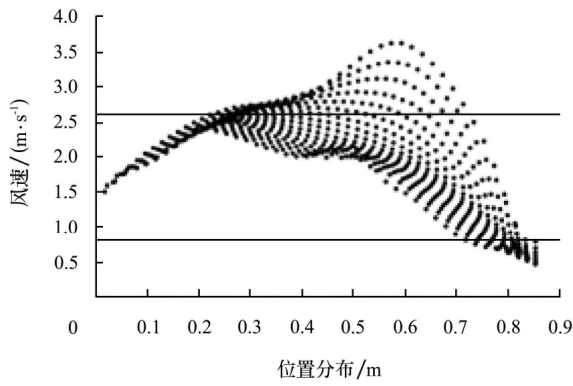
图 3 分离室关键区域模拟示意图

Fig.3 Sketch of key region of seperation device

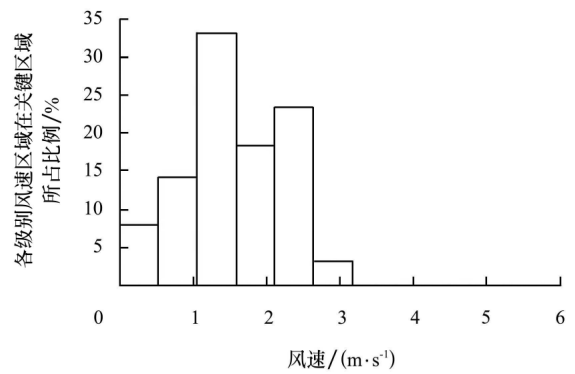
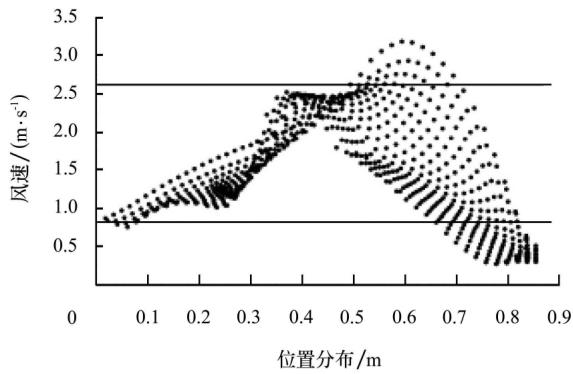
本文利用 Fluent 软件^[17-19]仿真了分离室入口风速为 3.5、4.0、4.5、5.0 m/s 时关键区域竖直方向的速度分布,并将结果与临界悬浮速度范围 0.8~2.6 m/s 进行对比,以考察籽棉是否有可能被带出。

分别在 4 种不同的风速下,区域内散点分布图(图 4a、4b、4c、4d)所示,图中左部分最下面的直线速度为 0.8 m/s,即设定的残膜悬浮速度,最上面直线的速度为 2.6 m/s,即籽棉悬浮速度。图 4 中左部分横轴为关键区域

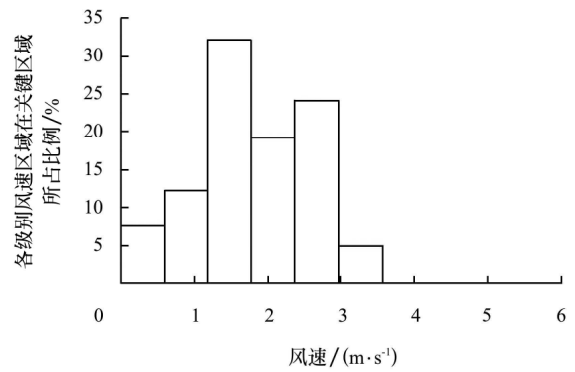
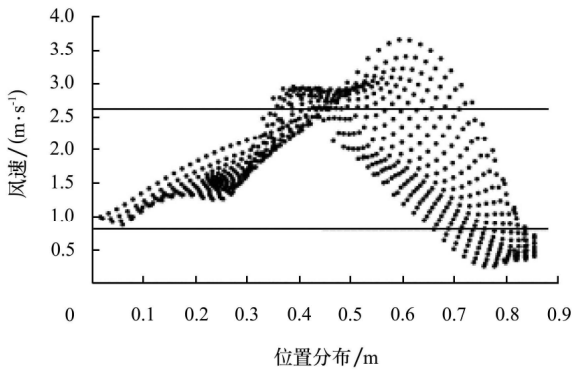
底边 x 轴方向 (图 3 示) 位置分布。图 4 中右部分为关键区域内各级别风速占整个区域的百分比。分析结果如下：



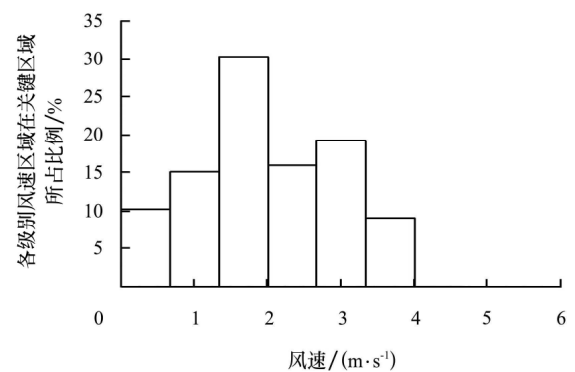
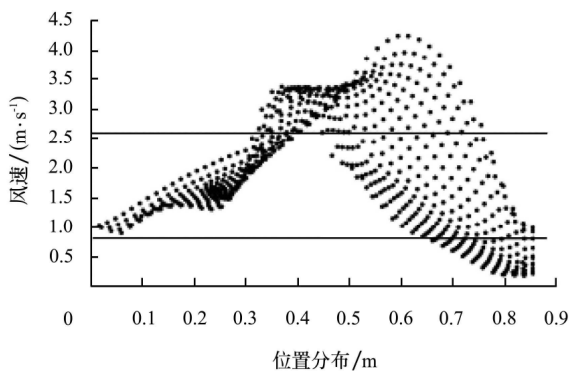
a. 入口风速 3.5 m/s



b. 入口风速 4.0 m/s



c. 入口风速 4.5 m/s



d. 入口风速 5.0 m/s

图 4 不同入口风速时关键区域内速度分布图

Fig.4 Velocity distribution graphs of key region in different inlet velocities

1) 由图 4a 得: 入口速度在 3.5 m/s 时, 关键区域内速度分布在 0.8~2.6 m/s 范围内所占的比例约为 68%~69%, 从带出比的角度基本符合要求, 但在实际分离中, 当入口风速低于 4.0 m/s 时难以使全部籽棉冲向网状大滚筒, 不符合籽棉残膜分离的基本条件。

2) 由图 4b 得: 入口速度在 4.0 m/s 时, 关键区域内速度分布在 0.8~2.6 m/s 范围内所占的比例约为 85%~86%, 比较符合要求。

3) 由图 4c 得: 入口速度在 4.5 m/s 时, 关键区域内速度分布在 0.8~2.6 m/s 范围内所占的比例约为 67%~68%, 基本符合要求。

4) 由图 4d 得: 入口速度在 5.0 m/s 时, 关键区域内速度分布在 0.8~2.6 m/s 范围内所占的比例约为 59%~60%, 不符合分离清理要求。

综合上述情况, 比较 4 种入口风速情况可知入口风速为 4.0 m/s 时, 理论情况下籽棉最不易随着残膜的分离而被带出。

4 试验与仿真结果对比分析

为验证仿真结果, 本文利用 JX1000-1Q 型四通道智能压力风速风量数据采集仪 (测量精度 0.01 m/s) 对图 5 中由数字 1-24 标注的关键点风速进行测量。

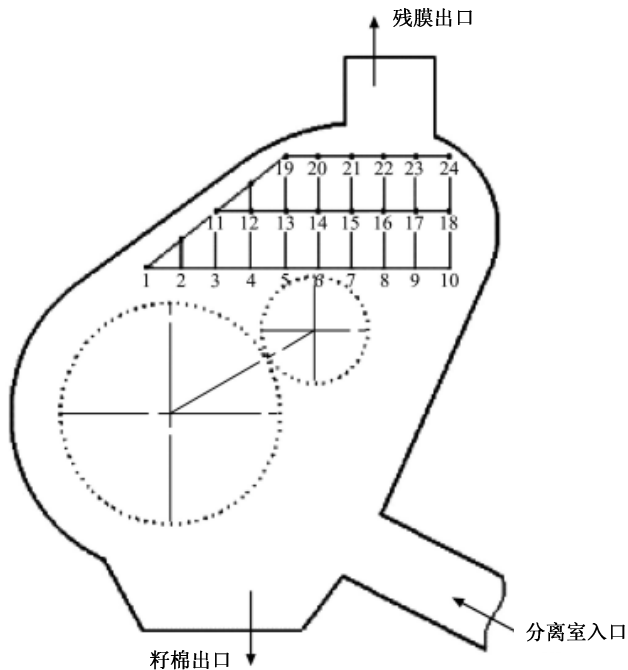


图 5 分离室内速度测点分布图

Fig.5 Measuring points velocity distribution graph of separation device

将试验数据与模拟数据进行对比计算, 运用成对数据的 t -检验对两组不同数据进行检验分析^[20]。

对试验值与模拟值进行 t -检验: 平均值的成对二样本分析, t -检验计算公式如下

$$t = \frac{\bar{Y} - \mu}{S_Y} \sqrt{n} \quad (8)$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (9)$$

$$S_Y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (10)$$

设 X_1 、 X_2 分别表示模拟值与测试值, 令 $Y = X_1 - X_2$, 则 $Y \sim N(\mu, s^2)$, 提出假设 $\mu = 0$, 由条件得 $n = 24$, $\bar{Y} = 0.225514$, $S_Y = 0.020834$, 取置信水平 $\alpha = 0.05$, 利用双侧检验, 查 t 分布临界值表知 $t_{0.025}(24) = 2.391$ 。计算得 $t = 1.003804$, $-2.391 < 1.003804 < 2.391$, 故假设成立, 即可知仿真值与测量值差异较小。将试验数据与仿真数据对比, 对比结果如图 6 所示。

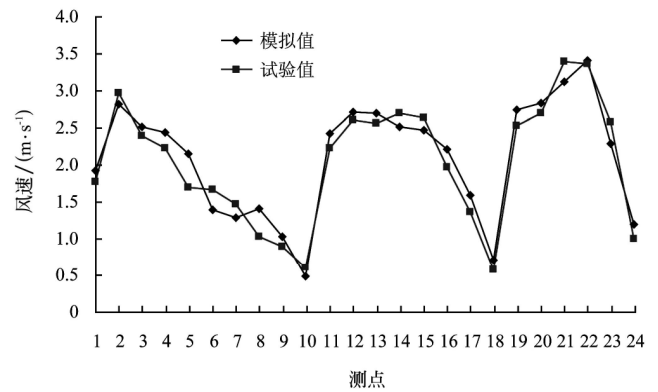


图 6 试验结果和模拟结果对比曲线

Fig.6 Contrast curves between experimental results and the simulative results

5 结论

1) 仿真了分离装置内关键区域的速度分布, 并对关键区域内的不同流速的流场分布进行了预测。结果表明: 入口速度在 4.0 m/s 时, 关键区域内速度分布在 0.8~2.6 m/s 范围内所占的比例分别为 85%~86%, 比较符合要求。

2) 利用试验测定的方法对仿真值进行了验证, 结果表明, 仿真值与测量值差异较小。

[参考文献]

- [1] 中国棉纺织信息网. 2011 新疆兵团机采棉种植面积达总面积一半[EB/OL]. <http://info.textile.hc360.com>, 2010-11-18.
- [2] 李成松, 王丽红, 坎杂, 等. 加快残膜回收提高机采棉质量[J]. 中国棉花加工, 2005(6): 34-35.
Li Chengsong, Wang Lihong, Kan Za, et al. Accelerate the film remnant reclaim to enhance machine-harvested seed cotton quality[J]. China Cotton Processing, 2005(6): 34-35. (in Chinese with English abstract)
- [3] 郭俊先, 应义斌. 皮棉中杂质检测技术与检出装备的研究进展[J]. 农业机械学报, 2008, 39(7): 106-112.
Guo Junxian, Ying Yibin. Progress on detecting technique and sorter of raw cotton foreign matters[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(7): 106-112. (in Chinese with English abstract)
- [4] 杨文柱, 李道亮, 魏新华, 等. 基于自动视觉检测的棉花异性纤维分类系统[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 177-181.
Yang Wenzhu, Li Daoliang, Wei Xinhua, et al. AVI system for classification of foreign fibers in cotton[J]. Transactions

- of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12): 177—181. (in Chinese with English abstract)
- [5] 郑东耀, 丁先怀. 利用纤维红外吸收特性的皮面杂质检测新方法[J]. 红外与毫米波学报, 2005, 24(2): 146—150.
Jia Dongyao, Ding Tianhuai. Novel method of detecting foreign fibers in lint by fiber's infrared absorption characteristic[J]. J.Infrared Millim.Waves, 2005, 24(2): 116—150. (in Chinese with English abstract)
- [6] 郑东耀, 丁先怀. 棉花中异性纤维的多光谱检测[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2005, 45(2): 193—196.
Jia Dongyao, Ding Tianhuai. Detecting foreign fibers in cotton using a multi-spectral technique[J]. J Tsinghua Univ (sci&tech), 2005, 45(2): 193—196. (in Chinese with English abstract)
- [7] 方合义. MQZY 棉异性纤维清理机应用分析[J]. 中国棉花加工, 2010(4): 12—14.
- [8] 田晓静. 开清棉生产线异纤清除机使用情况分析[J]. 上海纺织科技, 2007, 35(1): 20—21.
Tian Xiaojing. Application of foreign matter cleaner in cotton opening and scotching line[J]. Shanghai Textile Science and Technology, 2007, 35(1): 20—21. (in Chinese with English abstract)
- [9] 刘向新, 周亚立, 赵岩. 棉花异性纤维清理机械发展的现状与展望[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(2): 505—506.
- [10] 张若宇, 坎杂, 江英兰, 等. 籽棉异性纤维清理机[P]. 中国专利: CN200910113398.9.
- [11] 坎杂, 郭文松, 张若宇, 等. 网状滚筒式籽棉残膜分离机的设计[J]. 农业工程学报, 2011, 27(6): 95—99.
Kan Za, Guo Wensong, Zhang Ruoyu, et al. Design of mesh roller-type separator for machine-harvested seed cotton and film remnant[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(6): 95—99. (in Chinese with English abstract)
- [12] 张海军. 机采残膜分离装置内流场数值模拟与仿真研究新疆[D]. 石河子大学, 2010.
Zhang Haijun. Numerical Simulation Research on Flow Filed of Machine Picked Cotton Separating Equipment of Cotton-And-Film[D]. Shihezi University, 2010. (in Chinese with English abstract)
- [13] 周祖锴. 农业物料学[M]. 北京: 农业出版社, 1994.
- [14] 塔娜, 秀荣, 张志耀. 粮食颗粒悬浮速度测试分析[J]. 农机化研究, 2009(8): 147—150.
Ta Na, Xiu Rong, Zhang Zhiyao. Experimental study on suspension velocity of grain in vertical pipe[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009(8): 147—150. (in Chinese with English abstract)
- [15] 向卫兵, 罗锡文. 气力在农业工程中的应用[J]. 农机化研究, 2005(4): 211—213.
Xiang Weibing, Luo Xiwen. Application of pneumatic technology in agricultural engineering[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2005(4): 211—213. (in Chinese with English abstract)
- [16] 王泽南, 张鹏. 农业物料球形颗粒临界速度动力特性的仿真[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 14—17.
Wang Zenan, Zhang Peng. Simulation of the critical velocity dynamical characteristics of spherical grain of agricultural material[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(4): 14—17. (in Chinese with English abstract)
- [17] 王泽南, 张鹏, 尹安东. 基于 ANFIS 的球形农业物料 Re-C 关系曲线的拟合[J]. 中国农业大学学报, 2002, 7(4): 16—20.
Wang Zenan, Zhang Peng, Yin Andong. Fitting the Equation to Data for Spherical Agricultural Material's Re-C Relation Curve Based on ANFIS[J]. Journal of China Agricultural University, 2002, 7(4): 16—20. (in Chinese with English abstract)
- [18] 王福军. 计算流体动力学分析-CFD 软件原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [19] 邓楼楼, 索双富, 张孝强, 等. Fluent 在棉花异性纤维清除机喷嘴结构设计中的应用[J]. 实验技术与理, 2008, 25(2): 98—100.
Deng Loulou, Suo Shuangfu, Zhang Xiaoqiang, et al. The application of Fluent in the high-speed nozzle design of heterogeneous-fiber sorting machine[J]. Experimental Technology and Management, 2008, 25(2): 98—100. (in Chinese with English abstract)
- [20] 谭春亮, 王科社, 范涛. 风选机的气流场分析与优化设计[J]. 北京机械工业学院学报, 2006, 26(1): 20—23.
Tan Chunliang, Wang Keshe, Fan Tao. Simulation analysis of flow field of air classifier[J]. Journal of Beijing Institute of Machinery, 2006, 26(1): 20—23. (in Chinese with English abstract)
- [21] 杜文勇. 油菜联合收割机清选装置气流场数值模拟和试验研究[D]. 华中农业大学, 2007.
Du wenyong. Experimental Study and Numerical Simulation of Air Flow Field in the Cleaning Device of a Rapeseed Combine Harvester[D]. Hua Zhong Agriculture University, 2007. (in Chinese with English abstract)

Simulation on cotton dragout mechanism of mesh roller-type cotton and film remnant separator

Zhang Ruoyu, Kan Za^{*}, Guo Wensong, Zhang Haijun, An Honglei, Guo Shuxia, Cong Tengda
(Key Laboratory for Agricultural Machinery of Xinjiang Production and Construction Corps, College of Machinery and Electricity Engineering, Shihezi University, Shihezi 832000, China)

Abstract: In order to reduce the loss of cotton in the separation process, the suspending velocity 2.6 and 0.8 m/s of the two kinds of materials were obtained through calculating and experiment. The velocity distribution in the key region was analysed using the Fluent software, as the inlet wind velocity set at 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 m/s, respectively. The result indicated that under the condition of 4.0 m/s inlet wind velocity, the velocity content was 85%-86% during 0.8-2.6 m/s, which was the most according with the demand. The result indicated that both the experimental results and the simulative results were very similar. This study provides reference for further focusing on optimizing and designing the separator.

Key words: cotton, separator, simulation, unginned cotton, mesh roller-type, cotton dragout mechanism, suspension velocity