

仿生非光滑筛面近筛层微观气流场研究*

马征 李耀明 徐立章

(江苏大学现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室, 镇江 212013)

【摘要】 以入风口角度和筛面形态为试验因素,对仿生非光滑筛面近筛层微观气流场进行了数值模拟研究,并对仿生非光滑清选筛和普通光滑清选筛进行了田间对比验证。试验结果表明:入风口角度对清选筛面上近筛层内的微观气流场基本没有影响;仿生非光滑筛面形态将筛孔间近筛层内的单个小漩涡分解为2个小漩涡,致使漩涡流线不能完全地从筛面经过,使得细小油菜物料难以与仿生非光滑筛面充分接触,起到了减粘作用;仿生凸包的减粘作用较仿生凹坑明显。

关键词: 联合收获机 仿生 清选 气流场

中图分类号: S226.5; TB17 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)S0-0074-04

Micro Flow Field on Adjacent Screen of Bionic Nonsmooth Cleaning Screen

Ma Zheng Li Yaoming Xu Lizhang

(Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education & Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

Numerical simulation method was introduced to study the micro flow field on the adjacent screen layer (0 ~ 10 mm in height range) of bionic nonsmooth screen, in which the draught angle and surface feature were chosen as factors. Bionic nonsmooth rape cleaning screen was made to compare with the common smooth screen in the field. The result showed that the draught angle basically had no influence on the micro flow field on the adjacent screen layer. The bionic feature would destruct the little vortex among the holes into two smaller vortexes which reduced the contact possibility between tiny rape materials and cleaning screen and lowered the adhesion degree. The result also showed that the bionic convex surface could lower adhesion better than bionic concave surface.

Key words Combine harvester, Bionic, Cleaning, Flow field

引言

油菜机械化收获过程中,油菜脱出物经常粘附于清选筛面,以至于堵塞筛孔,削弱清选筛分能力,最终导致清选损失急剧增大。油菜脱出物的粘筛堵孔问题属于湿粘农业物料与运动金属部件之间的粘附摩擦问题^[1]。仿生非光滑表面具有突出的减粘降阻作用,已在工业、农业、航空、体育等多方面得到了广泛的研究与应用^[2]。

针对油菜脱出物的粘筛堵孔难题,李耀明等将仿生非光滑表面的减粘降阻研究引入收获机械研究领域,从摩擦、粘附等多个方面展开了清选筛面对油菜脱出物的减粘降阻研究,取得了一定成效^[1-4]。任露泉等研究表明:在旋成体表面适当添加仿生非光滑形态,能有效降低旋成体的飞行阻力^[5-6]。针对油菜脱出物的粘筛堵孔问题,本文采用数值模拟与田间验证相结合的方法,对仿生非光滑筛面的近筛层微观气流场展开研究。

收稿日期: 2011-07-30 修回日期: 2011-08-26

* 国家自然科学基金资助项目(50805068)、“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2009BADB5B05、2010BAD01B06)、江苏大学校基金资助项目(10JDC088)、江苏省农业装备与智能化高技术重点实验室资助项目(BM2009703)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: 马征, 博士生, 主要从事现代农业机械设计及理论研究, E-mail: benmamazheng@gmail.com

通讯作者: 李耀明, 教授, 博士生导师, 主要从事现代农业机械设计及理论研究, E-mail: ymli@ujs.edu.cn

1 试验方案

1.1 试验模型

已有的关于联合收获机清选室内气流场的研究,一般是从宏观上对清选室内的气流场进行研究^[7-10],针对筛面上方附近的微观流场展开研究分析的则不多见。本文将筛面上方 0~10 mm 内的空间称作近筛层,并对近筛层内的微观气流场进行观察和对比。

研究表明,清选室内气流场沿横向差别不大^[7],预备试验表明,清选室形腔对近筛层内的微观气流场不产生显著影响。因此,本文选择对清选室纵向截面进行二维仿真,并对纵向截面的模型作如下简化:筛面倾角简化为 0°;清选室底部形腔简化为两条直线相交;清选室顶部简化为矩形。

简化后的模型尺寸如图 1 所示,筛孔尺寸与分布如图 2 所示。

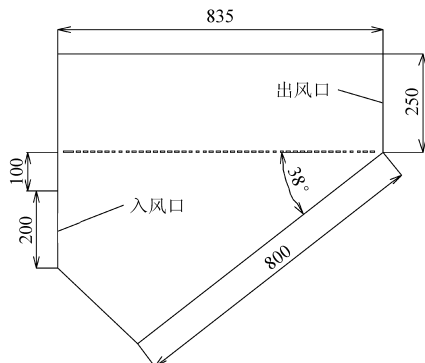


图 1 清选室模型的纵向截面尺寸
Fig. 1 Portrait size of cleaning space

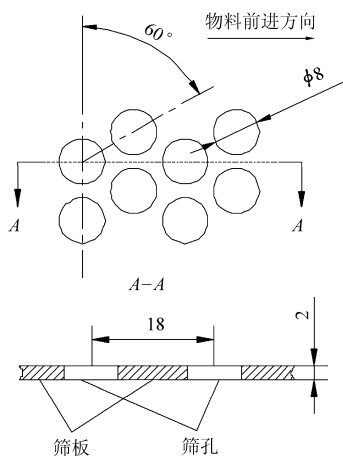


图 2 筛孔分布及筛孔尺寸

Fig. 2 Distribution of screen holes and the holes' figure size

1.2 参数设置与因素选择

试验以筛面形态和入风口气流方向角为考察因素。其中筛面形态分为光滑面、仿生凸包、仿生凹坑,相应的清选室二维模型分别用字母 G、T 和 A 表

示;入风口气流方向角分为 22°、25°、28°,气流速度均为 12 m/s。仿生凸包与仿生凹坑的尺寸如图 3 所示。

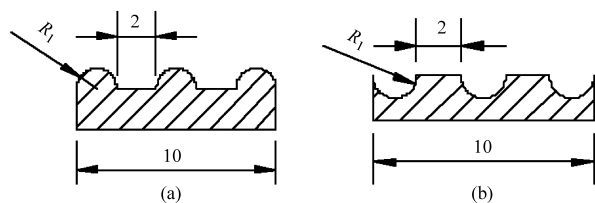


图 3 筛面仿生形态的尺寸

Fig. 3 Size of bionic figure

(a) 仿生凸包 (b) 仿生凹坑

1.3 网格划分与边界条件

试验先采用 AutoCAD 构建清选室纵向二维图,生成若干面域之后导出为标准 ACIS 文件,再由 Gambit 软件进行网格划分。

在 Gambit 软件中,先将模型对象合并为一个面域,再分别在模型中的各边线上创建合适的结点。边线结点的疏密会直接影响到后续面域网格的结点数量和计算所需时间,合理创建的结点应在保证计算精度的前提下使计算时间最短^[11]。本试验所构建模型的筛面具有微小非光滑形态,且近筛层是最主要的观测区域,因此对模型的外围边框按照单位间距 (interval size) 5 mm 创建结点,对筛面除凸包/凹坑外的边线按照单位间距 1 mm 创建结点,为保证网格对弧线的分割效果,对凸包/凹坑的弧边则按照间距数目 (interval count) 6 个创建结点,如图 4 所示。

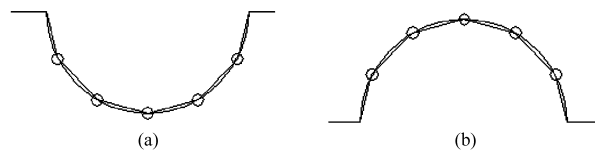


图 4 创建仿生非光滑形态的弧边结点

Fig. 4 Structure point on arc of bionic nonsmooth figure

(a) 凹坑 (b) 凸包

边线结点创建完毕后,再根据边线结点对整个模型的面域进行面网格划分。面网格分为三角网格和矩形网格两种,前者网格生成较快,但计算精度不及后者;后者网格生成较慢,但计算精度较好。本试验中,G 型和 A 型模型采用矩形网格划分,生成网格结点数分别为 119 005 和 207 136 个,经多次尝试,T 型模型采用三角网格进行划分,所得网格节点数为 486 720 个。

网格划分的最后一步是设置边界类型。本试验中,分别设置图 2 中所示的两处边线分别为入风口与出风口,边界类型分别选择为 velocity inlet (速度入口) 和 outflow (流体出口),其余边界为 wall 类型。

设置完成后将文件导出为 mesh 格式,网格划分完成,如图 5 所示。

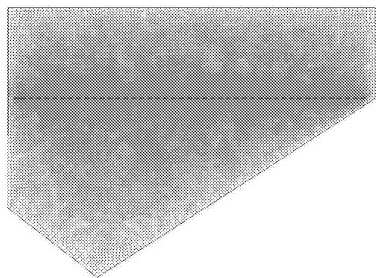


图 5 面网格划分完成的二维清选室截面模型

Fig.5 2-D cleaning space model with surface meshes

将网格文件导入通用计算流体力学软件 Fluent,长度单位设置为 mm,选择求解模型为 $k-\varepsilon$ (2 eqn) (湍流),流体默认为 air (理想空气),由于本试验不涉及热交换,因此壁面保持默认的 Aluminum (铝)。在设置边界条件时,选择速度入口的设置方式为“Magnitude and direction”(大小和方向),以便于以不同的角度设置试验。入风口角度是以 x,y 方向的分量比例进行设置的,针对本试验所要设置的 $22^\circ, 25^\circ, 28^\circ$,其 x,y 方向的分量比例设置分别为 $0.93/0.37, 0.91/0.42$ 和 $0.88/0.47$ 。速度出口和壁面的边界条件保持默认设置。初始化之后,设置收敛精度为 10^{-4} ,开始迭代计算。

2 试验结果与分析

图 6~8 是入风口方向角为分别 $22^\circ, 25^\circ$ 和 28° 时不同筛面形态的近筛层微观气流场速度矢量图。

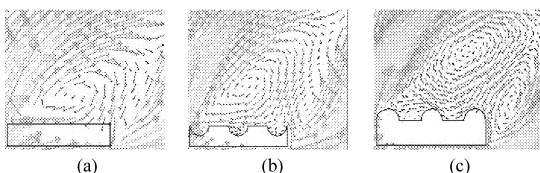


图 6 不同筛面形态的近筛层微观气流场速度矢量图(方向角 22°)

Fig.6 Micro flow field on adjacent screen of different screen features (draught angle 22°)

(a) 普通光滑筛面 (b) 仿生凹坑筛面 (c) 仿生凸包筛面

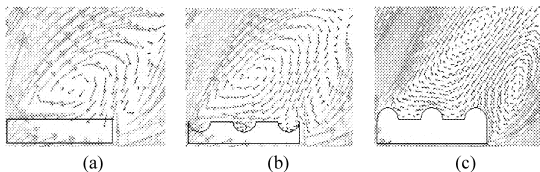


图 7 不同筛面形态的近筛层微观气流场速度矢量图(方向角 25°)

Fig.7 Micro flow field on adjacent screen of different screen features (draught angle 25°)

(a) 普通光滑筛面 (b) 仿生凹坑筛面 (c) 仿生凸包筛面

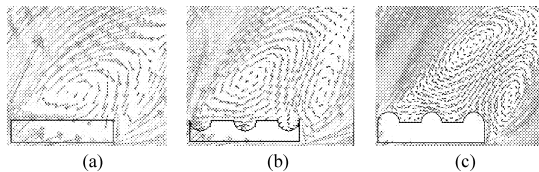


图 8 不同筛面形态的近筛层微观气流场速度矢量图(方向角 28°)

Fig.8 Micro flow field on adjacent screen of different screen features (draught angle 28°)

(a) 普通光滑筛面 (b) 仿生凹坑筛面 (c) 仿生凸包筛面

试验主要是考察近筛层微观气流场的气流流向分布。由于同一试验中,筛面前后不同位置的近筛层气流场非常类似,因此所取流场是在同一试验中任意截取的筛面两筛孔之间的近筛层速度矢量图,且没有标出速度大小指示条。

2.1 入风口角度对近筛层微观气流场的影响

研究表明,在风筛式清选装置中,入风口角度对清选室内的宏观气流场分布具有较为显著的影响^[5-8]。但纵向对比图 6~8 同一筛面形态的近筛层气流场可知,入风口角度分别为 $22^\circ, 25^\circ$ 和 28° 时,同一形态筛面的近筛层微观气流场基本没有变化。可见,入风口角度虽然对清选室内的宏观气流场分布具有较为显著的影响,但对筛面近筛层微观气流场影响不大。

2.2 筛面形态对近筛层微观气流场的影响

横向对比图 6~8 可见,在同一入风口角度条件下,气流在具有光滑形态的筛孔间筛面近筛层内形成一个小漩涡,而在具有仿生非光滑形态的筛孔间筛面近筛层内则形成了一主一辅两个小漩涡,并且仿生凸包形态筛面的两个小漩涡较仿生凹坑形态筛面的明显。显然,在不同入风口气流角度条件下,仿生非光滑形态均使筛孔间筛面近筛层的单个漩涡分解成为两个漩涡,且仿生凸包形态的分解作用更为明显。

由文献[1]可知,油菜筛面粘附物中不同机械组分的尺寸均非常小,且尺寸在 $0.3 \sim 2.5$ mm 之间的占 77%。这部分细小成分是最先与筛面发生粘附的物料,由于其质量很小,因此这些细小成分在筛面的运动是筛面气流运动的响应。由图 6a、图 7a 和图 8a 均可见,光滑筛面上筛孔间筛面近筛层所存在的单个小漩涡的流线能完整地从小漩涡掠过,会携带上述粘附物中细小成分完全地从筛面经过,这增大了细小粘附物与筛面的接触机会,从而促进了粘附的发生。反之,由图 6b、6c、图 7b、7c 和图 8b、8c 可以发现,由于仿生形态的存在,筛孔间近筛层内的单个漩涡不仅因分解为两个漩涡而得到削弱,而且漩涡的流线已不能完全地从筛面经过,这减少了漩

涡所携带细小粘附物与筛面的接触机会,从而能缓解粘附的发生。

3 田间验证

为验证仿生非光滑形态对油菜脱出物的减粘降阻作用,按照仿真试验中的尺寸试制了仿生非光滑表面清选筛,与普通光滑清选筛进行了田间对比试验。田间试验采用3台4LL-2.0D型油菜联合收获机在同一田块中同时作业,在3台收获机上分别安装了具有光滑形态、仿生凹坑形态和仿生凸包形态的油菜清选筛。油菜品种为史力佳,直播种植,收获时处于黄熟中后期。

在收获约0.13 hm²油菜后,普通光滑筛面开始出现细小物料的粘附(图9a);在收获0.80~0.87 hm²油菜后,仿生凹坑筛面与仿生凸包筛面开始出现细小物料的粘附,其中仿生凹坑筛面的粘附较仿生凸包筛面明显(图9b和图9c)。

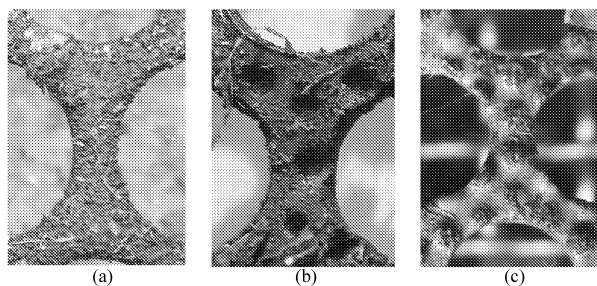


图9 田间试验中不同筛面形态清选筛的对比

Fig. 9 Contraction of different screens with different figure in the field

(a) 普通光滑筛面 (b) 仿生凹坑筛面 (c) 仿生凸包筛面

由图9a可知,细小油菜物料与普通光滑筛面的粘附接触较为全面和完整;由图9b可知,细小油菜物料只是与仿生凹坑形态筛面的凹坑外面发生了粘附,凹坑内部基本没有发生粘附,相对于光滑筛面而言具有较明显的减粘作用;由图9c可知,细小油菜物料仅与仿生凸包形态筛面的凸包顶部发生了粘附,整体粘附面积显著小于仿生凹坑形态筛面,减粘作用优于仿生凹坑。

显然,在相同宏观气流作用下,不同筛面形态所导致的不同近筛层微观气流场,使得细小油菜物料能与光滑筛面得到充分接触并迅速、全面地粘附于筛面,却使得细小油菜物料不能与仿生非光滑筛面得到充分接触,从而延缓了粘附的发生,起到了减粘的作用,并且仿生凸包的减粘作用尤为明显。这与仿真试验的结果是相一致的。

4 结论

(1) 风筛式清选装置中,入风口角度对筛面近筛层微观气流场基本没有影响。

(2) 仿生非光滑形态对近筛层微观气流场产生显著影响,将筛孔之间近筛层内的单个小漩涡分解为一主一辅两个小漩涡,并使漩涡的流线不能完全地从筛面经过。

(3) 田间验证试验表明,仿生非光滑筛面形态对近筛层微观气流场中单个小漩涡的分解作用使得细小油菜物料难以与仿生非光滑筛面充分接触,从而延缓粘附的发生,起到了减粘作用,且仿生凸包的减粘作用较仿生凹坑明显。

参 考 文 献

- 李耀明,马征,徐立章. 油菜联合收获机筛面粘附物摩擦特性[J]. 农业机械学报,2010,41(12):54~57,47.
Li Yaoming, Ma Zheng, Xu Lizhang. Tribological research of adhesive materials on rape cleaning sieve[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2010,41(12):54~57,47. (in Chinese)
- Ma Zheng, Li Yaoming, Xu Lizhang. Bionic desorption & damp-tiny material screening technology and their use in rape cleaning[C]//2011 International Conference on New Technology of Agricultural Engineering,2011:189~193.
- 徐立章,李耀明,马征. 油菜清选仿生减粘防堵试验研究[C]. 2010国际农业工程大会论文集,2010,6:179~182.
Xu Lizhang, Li Yaoming, Ma Zheng. Experiment on reduction of rape extraction adhesion force and sieve hole clogging by tribological technology[C]. 2010 International Agricultural Engineering Conference 2010, 6:179~182. (in Chinese)
- 马征,李耀明,徐立章. 油菜漂浮速度、摩擦与浸润特性的测定与分析[J]. 农业工程学报,2011,27(9):13~17.
Ma Zheng, Li Yaoming, Xu Lizhang. Testing and analysis on rape characteristics in floating, friction and wettability[J]. Transactions of the Chinese Society of Agriculture Engineering, 2011,27(9):13~17. (in Chinese)
- 张成春,任露泉,王晶. 旋成体仿生凹环表面减阻试验分析及数值模拟[J]. 吉林大学学报:工学版,2007,37(1):100~105.
Zhang Chengchun, Ren Luquan, Wang Jing. Experiment and numerical simulation on drag reduction for bodies of revolution using bionic scrobiculate ringed surface[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2007,37(1):100~105. (in Chinese)

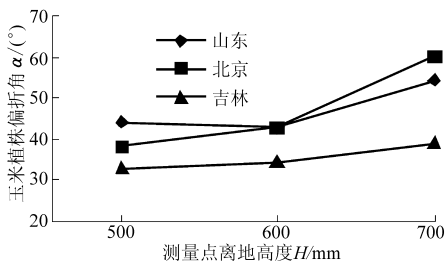


图4 三地区玉米植株偏折角对比

Fig.4 Comparing of max offset angle of corn straw

米植株抗弯能力的差异会使玉米收获适应性显著不同,这是地理位置、气候、品种、含水率、结穗部位等差异的综合体现。

从三地区主要品种 X 值的线性回归方程(2)、(4)、(6)可以归纳出,玉米主产区植株横向最大偏移量与测量点离地高度的关系为

$$X(H) = (0.4 \sim 0.6)H \quad (8)$$

从三地区主要品种 α 值的线性回归方程(3)、

(5)、(7)可以归纳出,玉米主产区植株偏折角与测量点离地高度的关系为

$$\alpha(H) = (0.05 \sim 0.08)H \quad (9)$$

如图2所示,根据分禾器宽度要小于等于玉米植株横向偏移量两倍的原则,式(8)、(9)可作为我国玉米联合收获机分禾器部件设计的参考依据。

3 结论

(1) 通过对山东、北京、吉林三地主要玉米品种的植株抗弯特性的测定及其差异性分析,利用抗弯特性与分禾器宽度的关系,得出了玉米联合收获机分禾器宽度的最大参考值,为以后的研发提供了设计依据。

(2) 玉米植株的偏折角与分禾器推移玉米植株的离地高度有关,离地高度越大,偏折角越大,反之越小。在玉米收获机作业时,在保证收获质量的前提下,应尽可能提升玉米收获台高度。

参 考 文 献

- 陈志,韩增德,颜华,等. 不分行玉米收获机分禾器适应性研究[J]. 农业机械学报,2008,39(1):50~52.
Chen Zhi, Han Zengde, Yan Hua, et al. Orthogonal validation experiment on crop divider of corn-harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(1):50~52. (in Chinese)
- 勾玲,赵明,黄建军,等. 玉米茎秆弯曲性能与抗倒能力的研究[J]. 作物学报,2008,34(4):653~661.
Gou Ling, Zhao Ming, Huang Jianjun, et al. Bending mechanical properties of stalk and lodging-resistance of maize[J]. Acta Agronomica Sinica, 2008,34(4):653~661. (in Chinese)
- 高梦祥,郭康权,杨中平,等. 玉米秸秆的力学特性测试研究[J]. 农业机械学报,2003,34(4):48~52.
Gao Mengxiang, Guo Kangquan, Yang Zhongping, et al. Study on mechanical properties of cornstalk[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003,34(4):48~52. (in Chinese)
- 李庆杨,王能超,易大义. 数值分析[M]. 4版. 北京:清华大学出版社,2001.

(上接第77页)

- 田丽梅,任露泉,刘庆平,等. 仿生非光滑旋成体表面减阻特性数值模拟[J]. 吉林大学学报:工学版,2006,36(6):908~913.
Tian Limei, Ren Luquan, Liu Qingping, et al. Numerical simulation on drag reduction characteristic around bodies of revolution with bionic non-smooth surface [J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2006, 36(6): 908~913. (in Chinese)
- 林恒善. 油菜的风筛式清选气流场的试验研究和数值模拟[D]. 镇江:江苏大学,2005.
Lin Hengshan. The experimental study and numerical simulation of air flow field of rape's air-and-screen cleaning [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2005. (in Chinese)
- 杜文勇,黄海东,樊啟洲. ANSYS在油菜联合收割机清选机构气流场中的应用[J]. 农机化研究,2007(10):174~175,178.
Du Wenyong, Huang Haidong, Fan Qizhou. Application of ANSYS in the flow field in the cleaning device of a rape's combine harvester[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(10):174~175,178. (in Chinese)
- 马晓霞,李耀明,徐立章. 联合收割机风筛式清选装置中气流场的仿真研究[J]. 农机化研究,2007(1):81~82.
Ma Xiaoxia, Li Yaoming, Xu Lizhang. Simulation research of airflow field in air and screen cleaning device for combine harvester [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(1):81~82. (in Chinese)
- 李耀明,唐忠,李洪昌,等. 筛式清选装置筛面气流场试验[J]. 农业机械学报,2009,40(12):80~83.
Li Yaoming, Tang Zhong, Li Hongchang, et al. Experiment on the flow field of the air-and-screen cleaning device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(12):80~83. (in Chinese)
- 韩占忠,王敬,兰小平. FLUENT流体工程仿真计算实例与应用[M]. 北京:北京理工大学出版社,2004.